

**1. Eter filozofów przyrody.** Słowo „eter” znajdujemy w pieśniach Homera i Hezjoda, a wiąże się ono z obrazem świata panującym w Helladzie z okresu pierwszej olimpiady (776 p.n.e.). Świat jako całość miał mieć kształt kuli lub jaja, przeciętego w połowie płaszczyzną, na której, oblana wodami Oceanu, leżała płaska Ziemia. Pod nią znajdowała się kraina umarłych, Hades, a na samym dnie mroczne miejsce pośmiertnych kaźni, Tartar. Nad Ziemią unosiła się mgła, „wilgotne powietrze”, wyżej przechodząca w eter, czyli „powietrze ogniste”, a wszystko to zamykała kopuła nieba, ze znajdującymi się na niej gwiazdami. Trzysta lat po Homerze Parmenides twierdził, że „Powietrze oddzieliło się do ziemi, parując na skutek większego jej ugniecenia. Słońce i krąg Drogi Mlecznej są wyziewami ognia, a księżyc jest mieszaniną powietrza i ognia. Najdalej na zewnątrz jest otaczający wszystko eter, poniżej ognista rzecz, którą nazywamy niebem, a jeszcze później rejon ziemi” [Aetios, *Placita philosophorum*]. Anaksagoras w połowie V w. p.n.e. miał, jak donosi Hipolit, twierdzić, że „Słońce, Księżyc i wszystkie gwiazdy są rozgrzanymi do białości kamieniami, niesionymi wokół [Ziemi] z wirem eteru”.

Platon – o którym nie wiemy, czy sądził, że Ziemia jest płaska, czy kulista – zawarł podobną koncepcję w *Fedonie*, w opowieści o Wyspach Szczęśliwych, na które po śmierci ciała trafiają dusze najcnotliwszych i najmądrzejszych z nas. Wyspy wznoszą się wysoko ponad rejony, jakie zamieszkujemy obecnie, otacza je powietrze tak jak nasze lądy otacza woda, zaś „czym dla nas jest powietrze, tym dla nich eter”.

Arystoteles wiedział, że Ziemia jest kulą, a sytuował ją w samym centrum kulistego świata. Świat podzielił na obszary podksiężycowy, zbudowany z ziemi, wody, powietrza i ognia, i nadksiężycowy, zbudowany z eteru. Podział ten był związany z potocznymi obserwacjami, zgodnie z którymi tu na Ziemi i w jej otoczeniu rzeczy nieustannie powstają i giną – co tłumaczył zarówno zmianami miejsc zajmowanych przez ciała, jak i przemianami czterech elementów, pod wpływem Słońca i innych ciał niebieskich, jeden w drugi – podczas gdy „w całej przeszłości w myśl tradycji przekazywanej z wieku na wiek nie widać żadnej zmiany ani w zespole nieba zewnętrznego, ani w żadnej spośród jego części” [*O niebie*]. W świecie ponad Księżycem nic nie powstaje i nie ginie, gdyż zbudowane jest ono z jednego elementu, eteru, który nie ma w co się przeobrazić. A że niebo nieustannie wiruje wokół (nieruchomej) Ziemi, to Arystoteles etymologię słowa *eter* wywodzi od „wiecznie biegnący”. Łączy z tym przekonanie, że ciała niebieskie są żywe: „musimy przyjąć, że czynności gwiazd są podobne do czynności wykonywanych przez zwierzęta i rośliny” [*O niebie*].

Ważniejsze dla dalszego rozwoju wydarzeń twierdzenia znajdujemy w XII księdze Arystotelesowskiej *Metafizyki*. Mamy tam, ledwie zarysowany, model świata, inspirowany matematycznym modelem Eudoksosa z Knidos, w wersji zmodyfikowanej przez Kallipposa. Zgodnie z nim niebo „zewnętrzne” zbudowane jest z 55 koncentrycznych sfer umieszczonych jedna wewnątrz drugiej (podobnie jak słoje cebuli, takiej bez korzenia i szczypioru), z których każda, wirując wraz ze sferą wobec niej zewnętrzną, wiruje własnym ruchem jednostajnym wokół właściwej dla siebie osi. Na niektórych z tych sfer umieszczone są planety (Księżyc, Słońce, Merkury, Wenus, Mars, Jowisz i Saturn), a na najdalszej gwiazdy „stałe”. Zarówno gwiazdy oraz planety, jak i unoszące je sfery, zbudowane są z eteru. Ponieważ komety powstawały i ginęły, Arystoteles lokował je poniżej sfery Księżyca i uważał za „wyziew o odpowiednim składzie” zapalony przez „zarodek ognia” [*Meteorologia*].

W *Almageście* Ptolemeusza, powstałym w połowie II w. n.e., znajdujemy inny matematyczny model ruchów planetarnych – tym razem przedstawione są one jako wynik złożenia ruchów po epicyklach i deferentach – niemniej w I księdze zostają powtórzone podstawowe tezy o budowie świata Arystotelesa. Zarys Ptolemejskiej kosmologii mamy w jego *Hipotezach planetarnych*. Etery, umieszczonych jedna wewnątrz drugiej, sfer planetarnych jest tam siedem, ale że dla „zachowania zjawisk” konieczne okazało się ulokowanie środka deferentu każdej z planet w innym nieco miejscu i poza środkiem świata, to sfery nie przylegają ściśle do siebie. Wiedząc, że odległość od Ziemi do Księżyca wynosi ok. 30 ziemskich średnic, a także zakładając,

że grubość każdej ze sfer jest dokładnie taka, jakiej potrzeba by zmieścił się w niej odpowiedni epicykl, Ptolemeusz obliczył, że średnica sfery gwiazdnej jest ok. 20 000 razy większa od średnicy Ziemi. A zatem prawie cały świat zrobiony jest z eteru, za wyjątkiem maleńkiej kulki w jego środku, w obrębie której wciąż mieszają się i przechodzą jedno w drugie ziemia, woda, powietrze i ogień.

Wzmianki o otaczających Ziemię siedmiu eterycznych niebach planetarnych i o ósmym niebie gwiazd stałych znajdujemy w pierwszym wielkim dziele filozoficznym napisanym przez chrześcijanina, czyli w powstałym ok. 220 r. *O zasadach* Orygenesesa. Jedną z trzech hipotez, jakie znaleźć tam można na temat tego, co stanie się z nami gdy wszystkie duchy powrócą do jedności z Bogiem, jest taka, że nasza substancja cielesna zostanie „przemieniona w stan eteryczny”. (Pozostałe hipotezy są takie, że w ogóle nie będziemy mieli ciała lub że będziemy przebywali „ponad sferą gwiazd stałych”.)

Neoplatonicy późnej starożytności w większości odrzucali pogląd Arystotelesa, iż eter jest substancją nieba. Plotyn (III w.) głosił, że jest ono zbudowane ze światła, a Proklos (V w.), że planety są zmieszane z ziemi i ognia, poruszają się zaś w pustej przestrzeni. Jan Filoponos (VI w.) też uważał, że planety i gwiazdy zbudowane są z tych samych elementów, co rejon ziemski – co pociągało za sobą odrzucenie tezy o niezmienności nieba.

Uczeni świata islamu od X do XII w. budowali swoje obrazy świata mieszając, zwykle nieświadomie, arystotelizm z neoplatonizmem. Podobnie czynili scholastycy od XIII do XV w. Metafizycy światła byli jednak w mniejszości, a przeważał pogląd, zgodnie z którym niebo jest zbudowane z eterycznych sfer umieszczonych jedna wewnątrz drugiej, wirujących wokół Ziemi i unoszących ze sobą – również zbudowane z eteru – planety i gwiazdy. Taki obraz świata da się wyczytać m.in. z *Boskiej komedii* Dantego – choć tam ponad niebem gwiazd stałych, stanowiącym według Arystotelesa zewnętrzną granicę świata, jest jeszcze miejsce, w którym przebywa Bóg w otoczeniu aniołów, świętych i ochrzczonych dzieci.

Astronomowie epoki renesansu stosowali matematyczne modele Ptolemeusza, modyfikując je tak, aby „zachować zjawiska”, przejmowali też jego poglądy kosmologiczne. Mikołaj Kopernik zaproponował nowy (choć inspirowany wzmiankami o zapomnianym modelu Arystarcha) matematyczny model nieba, ograniczał się jednak do dociekań matematycznych, a wyraźnej kosmologii nie stworzył.

Tycho Brahe, choć stanowczo odrzucił (z powodu nieobserwowalności paralaksy gwiazdnej) system Kopernika, podważył przekonanie o istnieniu eterycznych sfer planetarnych. Wykazał mianowicie w 1577 r., że widoczna wtedy kometa nie tylko znajdowała się dalej niż Księżyc, ale z nocy na noc jej odległość od Ziemi zmieniała się – czego nie dawało pogodzić się z poglądem, że przestrzenie ponad Księżycem są wypełnione. Ostateczny cios kosmologii Arystotelesa i Ptolemeusza zadały obserwacje nieba przez lunetę, jakie od 1609 r. prowadził Galileusz. Obserwacja gór na Księżycu, odkrycie, że Wenus jest kulą oświetlaną przez Słońce, a Jowisz posiada księżyce – wszystko to świadczyło o podobieństwie świata ziemskiego i światów planetarnych. Tak pojawiły się doświadczone argumenty na rzecz przekonania, iż ciała niebieskie zbudowane są nie z eteru, ale z substancji takich samych jak te, które znajdujemy w naszym otoczeniu.

Choć w ciągu XVII w. odrzucono ideę eteru jako substancji, z jakiej zbudowane jest niebo, to samo słowo wciąż pojawiało się w tworzonym krok po kroku obrazie świata nowożytnej fizyki. Tyle że teraz eter miał znajdować się zarówno w przestrzeniach kosmicznych, jak i w naszym bezpośrednim otoczeniu. Robert Boyle pisał o eterze jako o subtelnych strumieniach przepływających stale między biegunami magnesów i w ogóle próbował za pomocą hipotezy eteru wyjaśnić oddziaływanie między ciałami. Isaac Newton pod sam koniec II księgi *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687) przedstawił matematyczne argumenty przeciw Kartezjańskiej hipotezie wirów unoszących planety i w księdze III rozważał ruchy planet jako odbywające się w próżni. Jednak gdy po publikacji dzieła zaczęto krytykować go za przemycanie „niedorzecznego” poglądu, iż siły mogą działać na odległość, próbował wypełnić przestrzenie kosmiczne eterem, który gęstniał w miarę oddalania się od ciał. Ta hipoteza zawiodła, a wtedy

dodał do drugiego wydania *Principia* (1713) Scholium Generale, w którym zawarł słynne oświadczenie: „hipotez nie formuję” – i raz na zawsze porzucił próby mechanicznego wyjaśniania grawitacji.

Christiaan Huygens uważał, że światło to podłużne impulsy w wypełniającym całą przestrzeń – łącznie z wnętrzami ciał, przynajmniej tych przezroczystych – gazopodobnym eterze. Tym impulsom brakowało jednak periodiczności, w związku z czym moc wyjaśniająca teorii Huygensa była niewielka – i nie zyskała ona kolektywnego uznania.

W *Optics* (1704) Newton opowiedział się w zasadzie po stronie korpuskularnej teorii światła. Aby jednak wyjaśnić zjawiska takie jak pierścienie Newtona, spekulował na temat „ośrodka eterycznego”, którego drgania rozchodzą się szybciej niż poruszają się korpuskuły świetlne i tak modyfikują odpowiednie substancje „ważkie”, że korpuskuły na przemian łatwo odbijają się bądź łatwo przechodzą przez ich granicę. Dzięki wibracjom eteru światło miało przekazywać ciałom ciepło. Te hipotezy nie odegrały pozytywnej roli w dalszym rozwoju fizyki.

**2. Eter światłonośny.** W XVIII w. dominowała w fizyce korpuskularna teoria światła, a w związku z tym spekulacje na temat eteru zeszły na margines. Przełom zaczął się gdy w 1802 r. Thomas Young ogłosił *On the Theory of Light and Colours*, gdzie, opierając się na zjawiskach interferencji, sformułował falową teorię zjawisk optycznych i podał długości fal dla poszczególnych barw. Światło miało być falą podłużną w wypełniającym przestrzeń gazopodobnym eterze. W ten sposób eter wszedł na z górą sto lat do naukowego obrazu świata.

XIX-wieczne naukowe koncepcje eteru łączy z koncepcjami starożytnymi – zarówno mitologicznymi, jak i filozoficznymi – tylko słowo. „Eter” z czasów helleńskich i hellenistycznych, a później z epoki Cesarstwa Rzymskiego, nie był tym, co „eterem” nazywali fizycy od Younga do Lorentza. Wprawdzie oba etery miały wypełniać przestrzenie kosmiczne, ale obraz świata jako całości uległ w międzyczasie rewolucyjnemu przeobrażeniu. Gdyby więc Young wybrał inne słowo, tekst taki jak ten w ogóle by nie powstał – nie wiązano by jego ośrodka światłonośnego z eterem Homera czy Arystotelesa.

Fizycy XIX w. przekonani byli, że wszystko podlega prawom mechaniki Newtona. Ich zadanie polegało zatem na odgadnięciu, jakie fizyczne własności – masę, strukturę, współczynnik sprężystości itp. – ma eter, tak by te własności, w koniunkcji z Newtonowskimi zasadami ruchów, wyjaśniały zjawiska optyczne.

Jeszcze w 1728 r. James Bradley odkrył zjawisko aberracji światła gwiazd: widziane z Ziemi gwiazdy w ciągu roku zdają się zakreślać niewielki elipsy, w przypadku gwiazd z okolic biegunów przechodzące w okręgi, a w przypadku gwiazd równikowych w odcinki. Wyjaśnienie zjawiska w ramach korpuskularnej teorii światła było oczywiste, dla celów dydaktycznych przywołajmy prostą analogię. Padające pionowo krople deszczu kreślą na szybach jadącego pociągu smugi nachylone do pionu, tym bardziej, im prędkość jazdy jest większa (tangens kąta nachylenia jest równy stosunkowi prędkości, z jaką porusza się pociąg, do prędkości, z jaką spadają krople). Podobnie światło gwiazdy dociera do nas pod kątem – w stosunku do linii, łączącej nasze oko z jej „rzeczywistym” położeniem, a leżącym na płaszczyźnie wyznaczonej przez tę linię i wektor ruchu Ziemi – którego tangens jest równy stosunkowi prędkości, z jaką porusza się nasza planeta, do prędkości rozchodzenia się światła. W 1804 r. Young zauważył, że falowa teoria też zjawisko aberracji wyjaśnia, jeśli założyć, że eter światłonośny jest nieruchomy, również we wnętrzach poruszających się względem niego ciał.

W 1808 r. Étienne Malus odkrył, zrazu obserwując przez szpat islandzki odbijające się w szybach promienie Słońca, polaryzację światła. W 1816 r. Augustine Fresnel i François Dominique Arago stwierdzili eksperymentalnie, że promienie światła spolaryzowane w płaszczyznach równoległych interferują ze sobą, natomiast te spolaryzowane w płaszczyznach prostopadłych obrazu interferencyjnego nie dają.

Gdy w 1818 r. Fresnel przedstawił falową teorię światła, musiał, by wyjaśnić odkrycie Malusa, przyjąć, że światło to fale poprzeczne. Ale takie fale mogą, zgodnie z prawami mechaniki, powstawać tylko w ciałach wykazujących sprężystość kształtu, a zatem nie pojawiają się w gazach bądź w cieczach (powstają na powierzchni wody, ale nie w głębinach). Już Newton odrzucał

spekulacje Huygensa o światłonośnym eterze na tej podstawie, że stawiałby on opór ruchom planet i ich księżyców. Teraz zrobiło się jeszcze gorzej: Fresnel musiał przyjąć, że choć eter ma własności przypominające ciała stałe, to ciała „ważkie”, jakie wokół siebie spostrzegamy, przenikają przez eter nie doznając z jego strony stwierdzalnego oporu.

Co więcej, wszystkie eksperymenty optyczne świadczyły o tym, że fale świetlne są zawsze poprzeczne, nie zawierają żadnej składowej podłużnej. Tymczasem we wszystkich „zwykłych” ciałach stałych mogą powstawać fale obu tych rodzajów. Mało tego, gdy fala czysto poprzeczna ulega załamaniu na granicy dwóch ośrodków, dzieli się na fale poprzeczną i podłużną, rozchodzące się zwykle z innymi prędkościami. W przypadku światła niczego takiego nie zaobserwowano: po załamaniu fale świetlne pozostawały wyłącznie poprzeczne.

Ciału stałemu przypisujemy zwykle współczynnik sprężystości objętości i współczynnik sprężystości kształtu. Prędkość rozchodzenia się fali poprzecznej jest funkcją tylko tego drugiego i gęstości masy falującego ośrodka, natomiast fala podłużna rozchodzi się z prędkością zależną od gęstości masy i wartości obu współczynników. Teoretyczne manipulowanie wartościami współczynników sprężystości wiodło jednak wyłącznie do hipotez dziwacznych i w związku z tym trudnych do zaakceptowania. Fresnel – aby wyeliminować fale podłużne – twierdził, że eter jest ciałem całkowicie nieściśliwym, zarazem jednak musiał przypisać mu skończoną wartość współczynnika sprężystości kształtu. Ale by wyjaśnić stosunki amplitud fali załamanej na i odbitej od granicy dwóch ośrodków, musiał hipotezę o eterze nieściśliwym odrzucić. Augustin Cauchy w 1839 r. wystąpił z hipotezą eteru „labilnego”, o ujemnej wartości współczynnika sprężystości na ściskanie – takie ciało na nacisk reagowałoby dalszym kurczeniem się – o wartości tak dobranej, aby zgodnie z prawami mechaniki prędkość rozchodzenia się fal podłużnych wynosiła zero. Taki ośrodek byłby mechanicznie niestabilny, niemniej jednak eliminacja fal podłużnych wydawała się tak kusząca, że pomysł Cauchy'ego rozwijano jeszcze przez parę dziesiątków lat, czynili to m.in. William Thomson i Josiah W. Gibbs. W tym samym 1839 r. James MacCullagh wysunął przypuszczenie, że eter jest ciałem reagującym sprężystością wyłącznie na skręcenia. Podał matematyczne wyrażenie na wartość potencjalnej energii deformacji w jednostce objętości, co faktycznie eliminowało fale podłużne, niemniej nie był w stanie sformułować wiarygodnego mechanicznego modelu substancji o tak osobliwych własnościach – i to spowodowało, że jego propozycja została zignorowana. Dopiero po publikacji równań Maxwella William Thomson pomysł ten nie tylko docenił, ale zbudował model, zgodnie z którym eter miał być układem żyroskopów połączonych specjalnymi zawiasami – a to wszystko tak dobrał, aby system miał własności postulowane przez MacCullagha. Ostatecznie zadowalającego mechanicznego wyjaśnienia bezwyjątkowej poprzeczności fal świetlnych nie uzyskano.

Na tym się jednak empiryczne kłopoty mechanicznej teorii eteru nie kończyły. Jeszcze w 1810 r. Arago próbował eksperymentalnie ustalić, czy wszystkie gwiazdy emitują światło z tą samą prędkością i w tym celu obserwował je przez pryzmat – jako że panująca wtedy korpuskularna teoria światła kazała oczekiwać, iż współczynnik załamania zależy od prędkości, z jaką światło dociera do granicy dwóch ośrodków. Okazało się nie tylko, że przy identyczności kątów padania promieni ich kąty załamania są dla wszystkich gwiazd identyczne, ale że jest tak również dla tych gwiazd, od których Ziemia oddala się w swoim ruchu orbitalnym i dla tych, do których się zbliża. Pomiar powtórzony po pół roku – gdy Ziemia, zgodnie z teorią Kopernika, poruszała się na orbicie wokółsłonecznej w przeciwnym kierunku – dał taki sam, negatywny, rezultat. A przecież w tym przypadku z galileuszowsko-newtonowskiej zasady sumowania prędkości i modelu heliocentrycznego wynikało, że z obu kierunków światło dotrze z prędkościami różnymi o podwojoną prędkość ruchu Ziemi na orbicie, czyli o ok. 60 km/s. Spodziewana w związku z tym zmiana kąta załamania była większa niż błąd pomiarów Arago.

W teorii falowej współczynnik załamania jest równy stosunkowi prędkości, z jaką światło rozchodzi się w obu ośrodkach. Fale zaś, zgodnie z zasadami mechaniki, rozchodzą się ze stałą prędkością względem danego ośrodka (niezależnie od jego ewentualnego ruchu). Z takiej teorii – w koniunkcji z modelem heliocentrycznym, klasyczną zasadą sumowania prędkości i wspomnianym założeniem, iż eter pozostaje nieruchomy – wynikało, że w eksperymencie Arago promienie

gwiazd, do których Ziemia zbliża się w ruchu orbitalnym i od których się oddala powinny, przy identyczności kątów padania, załamywać się pod innymi kątami. (Nawet gdyby Słońce poruszało się akurat względem eteru z prędkością równą prędkości ruchu orbitalnego Ziemi, a w przeciwnym niż ona kierunku – co by sprawiło, że Ziemia byłaby w danej chwili względem eteru nieruchoma – to efekt powinien wystąpić gdy pomiary powtórzone po upływie pół roku.) Potrzebna więc była hipoteza pomocnicza, która by wyjaśniła negatywny wynik eksperymentu.

Prędkość rozchodzenia się fal w danym ośrodku jest, jak powiedziano, funkcją jego gęstości i współczynnika sprężystości. Skoro więc światło – co wynikało z teorii falowej, choć eksperymentalnie potwierdził to Hippolyte Fizeau dopiero w 1850 r. – rozchodzi się w wodzie lub szkłe z prędkością mniejszą niż w „próżni” (czyli tam, gdzie eter występuje w postaci czystej), to wynikało stąd dalej, że albo gęstość eteru światłonośnego jest w tych ciałach większa niż w obszarach pozbawionych ciał ważkich, albo mniejsza jest jego sprężystość, albo odpowiednio różne są obie wartości. Fresnel wybrał pierwszą możliwość, właśnie z uwagi na odkrycie Arago. Jeśli w szkłe gęstość eteru, w którym powstają fale świetlne, jest większa niż w przestrzeni „pustej”, to poruszający się względem eteru pryzmat unosi tę nadwyżkę ze sobą, podczas gdy reszta światłonośnego eteru pozostaje nieruchoma – a zatem średnia prędkość eteru znajdującego się wewnątrz pryzmatu jest mniejsza niż prędkość jego ruchu. To radykalnie zmniejszało wartość efektu, który powinien wystąpić w eksperymencie Arago. Teoria korpuskularna i „wyjściowa” teoria falowa kazały oczekiwać zmian kąta załamania rzędu  $v/c \approx 10^{-4}$ , gdzie  $v$  – prędkość ruchu orbitalnego Ziemi,  $c$  – prędkość światła, natomiast z teorii falowej uzupełnionej o hipotezę częściowego unoszenia eteru we wnętrzach ciał przezroczystych wynikało, że będzie to efekt rzędu  $v^2/c^2 \approx 10^{-8}$  – a takiej zmiany nie sposób było wówczas wykryć w najczulszych nawet eksperymentach.

Jednak założenie Fresnela, że eter jest ciałem stałym, całkowicie nieściśliwym, a zarazem ciała „ważkie”, nawet tak wielkie jak planety, przenikają przez niego nie doznając oporu (choć światło oddziałuje przecież na zwykłe ciała, np. ogrzewa je czy wywołuje pewne reakcje chemiczne), było tak nieintuicyjne, że wielu fizyków nadal poszukiwało rozwiązań alternatywnych. George Stokes ok. 1845 r. zauważył, że prędkości ruchów planetarnych są tysiące razy mniejsze od prędkości rozchodzenia się światła. Ciecze o dużej lepkości, takie jak gęstniejąca smoła, względem poruszających się przez nie powoli ciał zachowują się niczym ciecze, jednak ruchom bardzo szybkim stawiają zdecydowany opór, czyli reagują podobnie do ciał stałych. W takim ośrodku powstawałyby fale poprzeczne, o ile prędkości drgań byłyby dostatecznie duże. Natomiast poruszająca się przez eter Ziemia pociągałaby eter bezpośrednio ją otaczający ze sobą – podobnie jak kij, którym mieszamy smołę, unosi ze sobą oblepiającą go warstwę, częściowo unosi warstwę kolejną, a przy pewnej odległości już smoły w ruch nie wprawia. Tak więc w modelu Stokesa przylegająca do Ziemi warstwa eteru światłonośnego poruszałaby się wraz z nią – przy jej powierzchni brak by było „wiatru eteru” – i światło docierałoby do naszych przyrządów pomiarowych ze wszystkich stron z tą samą prędkością, co natychmiast wyjaśniałoby negatywny wynik eksperymentu Arago. (Różnica prędkości mogłaby się pojawić, gdyby przyrząd pomiarowy umieszczony został na bardzo wysokim maszcie czy szczycie górskim, sięgającym w rejony, w których eter już nie wędruje wraz z Ziemią, ale jaka to miałyby być wysokość, to już z teorii Stokesa, z uwagi na jej jakościowy charakter, nie wynikało.)

W 1851 r. Fizeau przeprowadził „eksperyment rozstrzygający” między obiema teoriami. Obserwował interferencję promieni świetlnych biegnących w jedną i – po odbiciu od lustra – w drugą stronę w wypełnionej wodą rurze o długości 1,5 m. Gdy woda zaczynała płynąć z prędkością ok. 7 m/s następowało przesunięcie prążków interferencyjnych o 0,23 szerokości prążka, podczas gdy z teorii częściowego unoszenia eteru we wnętrzach ciał przezroczystych Fresnela wynikało, że przesunięcie to wyniesie ok. 0,2. Tak znakomita zgodność zdawała się świadczyć na rzecz tej teorii, a przeciw teorii Stokesa.

W latach 1870-ch Éleuthère Mascart przeprowadził cały szereg eksperymentów, w których światło – pochodzące zarówno ze źródeł laboratoryjnych, jak i z ciał niebieskich – ulegało odbiciu, załamaniu, dyfrakcji, polaryzacji przez substancje dwójłomne, czemu czasem towarzyszyło

skręcenie płaszczyzny polaryzacji przez kryształ górski. Wyniki potwierdzały teorię Fresnela: z dokładnością do wielkości rzędu  $v^2/c^2$  – a ta była mniejsza niż błędy pomiarowe – ruch Ziemi nie wywierał na wymienione zjawiska żadnego wpływu.

Z eksperymentami rozstrzygającymi tak już jest, że wcale nie są rozstrzygające. Zanim to wyszło w przypadku sporu między teoriami Fresnela i Stokesa na jaw, nastąpiła radykalna zmiana całej sytuacji problemowej, związana z rewolucją, jaka dokonała się w dyscyplinie, o której do lat 1860-ch nie sądzono, że ma coś wspólnego ze zjawiskami świetlnymi.

**3. Eter elektromagnetyczny.** W 1800 r. naukowy obraz świata był taki, że w nieskończonej, trójwymiarowej, euklidesowej, jednorodnej i izotropowej przestrzeni, a także w jednostajnie i wszędzie jednakowo płynącym czasie miały być rozmieszczone ciała obdarzone masami, a ewentualnie też ładunkami elektrycznymi i magnetycznymi, działające na siebie siłami przenoszącymi się na odległość. Siły grawitacyjne, elektryczne i magnetyczne wyrażały się dokładnie analogicznymi wzorami: siła była równa odpowiedniej stałej pomnożonej przez iloczyn mas/ładunków elektrycznych/ładunków magnetycznych, a podzielonej przez kwadrat odległości między ciałami. Siły te działać miały wzdłuż linii łączących ciała.

W 1820 r. Hans Christian Oersted, zainspirowany doniesieniami żeglarzy o tym, że gdy blisko uderza piorun, igła kompasu wpada w drgania, przeprowadził serię eksperymentów, w wyniku których odkrył oddziaływanie prądu elektrycznego na magnes. Ledwie kilka tygodni po publikacji jego doniesienia André-Marie Ampère odkrył siły działające między przewodnikami z prądem. W wyniku tych prac eksperymentalnych i analizy ich rezultatów według zasad mechaniki okazało się, że zjawisk magnetycznych nie wywołują ładunki magnetyczne, ale są one wytworami ruchu elektryczności. 1831 r. Michel Faraday, a niezależnie od niego Joseph Henry, odkryli zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Przeanalizowane w świetle mechaniki klasycznej zjawisko to świadczyło o tym, że gdy ruch elektryczności ustaje lub zaczyna się – a zatem gdy ładunki elektryczne ulegają przyspieszeniu – na ładunki elektryczne znajdujące się w pobliżu działa siła nieznanego wcześniej rodzaju.

Teoretycznie wyniki tych eksperymentów – na podstawie praw mechaniki i założenia, iż prąd elektryczny jest równoczesnym ruchem korpuskuł o ładunkach dodatnich i ujemnych w przeciwne strony – podsumował w 1846 r. Wilhelm Weber. Z wymienionych przesłanek wyprowadził wniosek, że siły między ładunkami zależą od ich odległości (zgodnie z prawem Coulomba), od ich wzajemnych prędkości, a wreszcie od wzajemnych przyspieszeń. Siły te miały działać, zgodnie z panującym stylem myślowym, na odległość, wzdłuż linii łączących naelektryzowane ciała. W tym samym czasie Julius R. Mayer, James P. Joule, Hermann Helmholtz i inni sformułowali prawo zachowania energii. I tu pojawił się problem, gdyż pogląd, iż siły działające na odległość między ciałami zależą od ich prędkości i przyspieszeń z prawem zachowania energii pogodzić się nie dał – a w każdym razie nie wiadomo, jak tego dokonać (zwłaszcza jaką energię potencjalną przypisać układowi naelektryzowanych ciał w ruchu).

Ok. 1854 r. James Clerk Maxwell odmówił uznania teorii Webera, a także Neumanna, za ostateczną, gdyż, jak pisał kilka lat później, zakładają one, „że elektryczność działa na odległość siłą zależną od jej prędkości, a zatem nie podpada pod prawo zachowania energii” („On Physical Lines of Force”, 1961-62). Podjął zatem próbę zbudowania teorii alternatywnej, opartej na założeniu, że cała przestrzeń – łącznie z obszarami, które wydają się nam puste – wypełniona jest substancją, złożonym mechanizmem, który – podlegając prawom mechaniki Newtona – „poruszać się może na wiele sposobów, a jednocześnie posprzęganym w taki sposób, że ruch jednych jego części zależy, według określonych związków, od ruchu innych części; ruchy te przekazywane są przez siły powstające na skutek względnych przemieszczeń posprzęganych części, zgodnie z ich sprężystością” („A Dynamical Theory of Electromagnetic Field”, 1865).

Gdy pisał pierwszy z serii artykułów o zjawiskach elektromagnetycznych, „On Faraday's Lines of Force” (1855-56), nie traktował wyobrażenia o ośrodku przenoszącym oddziaływania zbyt poważnie. Nazwał go „płynem” (*Fluid*) i podkreślał, że oznacza ono „czysto wymyśloną substancję” charakteryzującą się nieściślnością, a wprowadzoną tylko po to, aby – wykorzystując analogie z równaniami hydrodynamiki, teorii sprężystości i teorii rozchodzenia się ciepła –

sformułować równania opisujące oddziaływania między ciałami naelektryzowanymi. W tym artykule Maxwell przetłumaczył znane już prawa wyrażone w kategoriach sił działających na odległość na równania, które poszczególnym punktom przestrzeni, zarówno wypełnionej ciałami ważkimi, jak i „pustej”, przypisywały, określone przez rozkłady i ruchy ładunków, natężenia pól elektrycznego i magnetycznego. Znaleźć tam można wszystkie równania późniejszej elektrodynamiki z wyjątkiem tego na „prąd przesunięcia” (nie sugerowanego wówczas przez żadne wyniki doświadczeń).

W „On Physical Lines of Force” Maxwell naszkicował model eteru, zbudowanego z mikroskopijnych komórek, których ruch wirowy jawi nam się jako pole magnetyczne. Wiry rozdzielone były warstwami kulek-ładunków elektrycznych, które mogły wirować, a jeśli znajdowały się we wnętrzu przewodnika to mogły też się przemieszczać, przy czym na styku wirów magnetycznych i ładunków elektrycznych nie występowały ani poślizg, ani tarcie. Tym modelem Maxwell ilustrował równania wyprowadzone kilka lat wcześniej. Wreszcie w II części artykułu wyposażył wiry magnetyczne we własności sprężyste, co jakościowo prowadziło do wyobrażenia o prądzie przesunięcia powstającym w dielektryku, gdy eter ulegał odkształceniu, a co, podobnie jak „zwykły” prąd, wytwarzało efekty magnetyczne. Bezpośrednio po wprowadzeniu go Maxwell pokazuje, że z uzyskanego w tej sposób równania (które wyrażone jakościowo brzmi: „wokół prądu elektrycznego i wokół obszaru, w którym natężenie pola elektrycznego ulega zmianie, powstaje wirowe pole magnetyczne”) wynika zasada zachowania ładunku. Mało tego, jeszcze na tej samej stronie Maxwell zauważa, że w ośrodku elastycznym mogą biec fale, a prędkość ich rozchodzenia się będzie zależała od gęstości eteru i od jego współczynnika sprężystości. Te własności wcześniej powiązał z tymi, które w doświadczeniu jawią nam się jako współczynniki przenikalności elektrycznej i magnetycznej. Gdy do równań podstawił odpowiednie wyniki pomiarów elektro- i magnetostatycznych, otrzymał wartość prędkości równą prędkości rozchodzenia się światła. I natychmiast stwierdzał: „trudno nam uniknąć wniosku, że światło polega na poprzecznych drganiach tego samego ośrodka, który jest przyczyną zjawisk elektrycznych i magnetycznych”. Mówiąc bardziej współcześnie: światło jest falą elektromagnetyczną.

Od tej chwili Maxwell przestaje traktować swój „płyn” jako użyteczną fikcję. Określa go mianem „eteru” i szybko nabiera przekonania o jego istnieniu. W *A Treatise on Electricity and Magnetism* (1873) pisał: „(...) jeśli jednak badania dwu różnych gałęzi wiedzy nasuwają niezależnie od siebie myśl o istnieniu ośrodka, i jeśli własności, jakie musimy przypisać temu ośrodkowi, aby wyjaśnić zjawiska elektromagnetyczne, są tego samego rodzaju jak te, które musimy przypisać ośrodkowi światłonośnemu, aby wyjaśnić zjawiska świetlne, to dowody na fizyczne istnienie takiego ośrodka zyskują poważnie na sile”.

W haśle „Ether” dla *Encyclopædia Britannica* (1875), Maxwell na podstawie pomiarów ilości energii cieplnej niesionej przez światło słoneczne, obliczał, że gęstość eteru wynosi ok.  $10^{-18}$  g/cm<sup>3</sup>. Ponieważ fale ani w powietrzu ani np. w szkle nie mogłyby rozchodzić się z prędkością  $3 \times 10^{10}$  cm/s, to twierdził, że eter przenika ciała przezroczyste, a prawdopodobnie też nieprzezroczyste. To, że światło rozchodzi się w wodzie lub szkle wolniej niż w próżni, tłumaczył tym, że cząstki tych ciał w pewnym niewielkim stopniu uczestniczą w wibracjach eteru. Na pytanie, czy eter jest ciałem o budowie ciągłej, czy też składa się z cząsteczek, odpowiadał, że prawdopodobnie to drugie, a skoro przenosi on światło bez rozpraszania jego energii, to cząsteczki muszą być ze sobą sztywno połączone. Dalej powtarzał stare spekulacje, iż zjawiska magnetyczne polegają na powstawaniu w eterze mikroskopijnych wirów, a jako że namagnesowane ciało nie traci z upływem czasu swych własności, to wnioskował stąd, iż między cząstkami eteru nie zachodzi tarcie, które by energię magnetyczną zamieniało w ciepło. Przyznawał, że nadal nie wymyślił teorii budowy eteru o własnościach wymaganych przez wyniki eksperymentów, a jednak na zakończenie stanowczo stwierdzał: „Jakiegolwiek możemy mieć trudności z utworzeniem spójnej idei budowy eteru, nie sposób wątpić, że międzyplanetarne i międzygwiazdne przestrzenie nie są puste, ale że zajmuje je materialna substancja czy ciało, które z pewnością jest najbardziej jednorodnym ciałem, o jakim cokolwiek wiemy”.

Zawiła forma matematyczna i brak wyraźnych sukcesów empirycznych sprawiły, że

Maxwellowska elektrodynamika dość długo nie znajdowała zwolenników. Jednak gdy Oliver Heaviside w 1885 r. nadał równaniom Maxwella elegancką postać, a dwa lata później Heinrich Hertz, kierując się tymi równaniami, wytworzył i odebrał fale radiowe, eteryczno-polowa teoria zjawisk elektromagnetycznych szybko zyskała kolektywną akceptację. Sam Hertz w wykładzie z 1889 r. mówił: „Czymże jest światło? Od czasów Younga i Fresnela wiemy, że jest ruchem falowym. Znamy prędkość fal, znamy ich długość, wiemy, że są poprzeczne; znamy, jednym słowem, najdoskonalej stosunki geometryczne ruchu. W tych rzeczach wątpliwości już nie są możliwe, obalenie tych poglądów jest nie do pomyślenia dla fizyka. Teoria falowa światła ze stanowiska ludzkiego jest pewnikiem; to, co z niej jako wniosek konieczny wypływa, jest również pewnikiem. Zatem jest też pewnym, że cała nam znana przestrzeń nie jest pusta, lecz napełniona substancją, w której mogą biec fale – eterem”.

#### **5. Pytanie o wpływ ruchu względem eteru na przebieg zjawisk elektromagnetycznych.**

Tymczasem powstał kolejny wielki problem związany z serią eksperymentów, jakie w 1881 r. przeprowadził Albert Michelson. Badał on interferencję dwóch strumieni światła, biegnących równolegle i prostopadle do kierunku ruchu orbitalnego Ziemi, po czym przez obrót aparatury o  $90^{\circ}$  zamieniał strumień równoległy na prostopadły i na odwrót. Nie zaobserwował żadnego przesunięcia prążków interferencyjnych – tymczasem pomiar był prowadzony z dokładnością do wielkości rzędu  $v^2/c^2$ . Wynik tego eksperymentu – odwrotnie niż wynik eksperymentu Fizeau – zdawał się potwierdzać teorię Stokesa, a przemawiać przeciwko teorii Fresnela.

Aby to wyjaśnić Hendrik Lorentz w 1886 r. zbudował teorię, będącą syntezą teorii Fresnela i Stokesa: otaczający Ziemię eter porusza się wraz z nią, jednak z prędkością rzędu połowy jej prędkości orbitalnej. Przewidywane przez taką teorię przesunięcie prążków interferencyjnych w eksperymencie Michelsona mieściło się w granicach błędów pomiarowych. Na to Michelson, we współpracy z Edwardem Morleyem, udoskonalili układ eksperymentalny tak, że mogli w 1887 r. wykazać, iż prędkość „wiatru eteru” przy powierzchni Ziemi jest mniejsza niż 1/6 jej prędkości orbitalnej – a to rodziło podejrzenie, iż wiatru eteru w ogóle nie ma.

W 1889 r. George FitzGerald ogłosił półstronicowy artykuł, w którym dla wyjaśnienia negatywnego wyniku eksperymentu Michelsona-Morleya sformułował jakościową hipotezę, iż „długość ciał materialnych zmienia się w czasie ruchu przez eter. (...) Wiadomo, że siły elektryczne zmieniają się pod wpływem ruchu naelektryzowanych ciał względem eteru, a zatem wydaje się, że nie jest nieprawdopodobne przypuszczenie, by ruch wpływał również na siły międzycząsteczkowe i powodował zmiany rozmiarów ciała” („The Earth and the Earth Atmosphere”). Dokładniej, rozmiary ciał miały się zmniejszać tylko w kierunku ruchu, podczas gdy rozmiary poprzeczne pozostawałyby niezmienione.

W 1891 r. Oliver Lodge badał interferencję promieni świetlnych przechodzących w obie strony między równoległymi dyskami umieszczonymi na wspólnej osi. Obraz nie zmienił się gdy dyski zaczęły szybko wirować, a z tego wynikało, że nie udzielają one eterowi nawet 1/200 części swego ruchu. Do podobnych wniosków prowadziły eksperymenty Rowlanda (1877), Röntgena (1888) i Eichenwalda (1901-4), w których badano pola magnetyczne wytwarzane przez wirujące naelektryzowane dyski.

Od 1892 r. Lorentz zaczął ogłaszać kolejne wersje teorii elektronowej, która łączyła równania Maxwella z założeniem o istnieniu korpuskuł elektryczności. Cała przestrzeń miała być wypełniona eterem, substancją jednorodną i nieważką, a także „nieruchomą”, służącą jako absolutny układ odniesienia. Materia „ważka” natomiast miała składać się z niesłychanie drobnych cząstek, „elektronów”, z których połowa posiada ładunki dodatnie, a połowa ujemne (nadmiar jednego z tych rodzajów w ciele odbieramy jako jego elektryzację). Eter pośredniczy w oddziaływaniach między elektronami: „Elektron w otaczającym go eterze wytwarza pewne zmiany stanu – zmiany określone wielkością jego ładunku i zależne także od ruchu samego elektronu. W tych zmianach stanu eteru tkwi istota wszelkich oddziaływań elektronu na sąsiednie cząstki. Zmiany te są wyrazem tego, co dzieje się w eterze dokoła ciał naelektryzowanych i magnesów. Drgający elektron będzie więc również wywoływał w eterze periodyczne zmiany” (Lorentz, *Poglądy i teorie fizyki współczesnej*, 1902).



Początkowo Lorentz ignorował wynik eksperymentu Michelsona-Morleya, ale gdy dowiedział się o hipotezie FitzGerala włączył ją do swojej teorii i nadał jej postać ilościową. Krok po kroku doskonalił matematyczną postać transformacji, zwanych dziś „transformacjami Lorentza”. Od 1899 r., aby zapewnić równaniom Maxwella niezmienniczość, wprowadził – jako użyteczną fikcję matematyczną – czas „lokalny”, który w układzie poruszającym się względem eteru zdaje się płynąć wolniej niż czas „rzeczywisty”. Znaczny wkład w sformułowanie, w ramach teorii elektronowej, wzorów łączących układ odniesienia związany z eterem z układem poruszającym się względem niego, wniósł Joseph Larmor (*Aether and Matter*, 1900), który dodał transformacje dla natężeń pól elektrycznego i magnetycznego.

W 1902 r. Lord Rayleigh zauważył, że gdyby rozmiary ciał zmieniały się tylko w kierunku ruchu, powstawałyby w nich naprężenia, a te powinny wywierać wpływ na zjawisko dwójłomności. Żadnego takiego efektu nie zaobserwował. Dwa lata później DeWitt Brice powtórzył jego eksperymenty ze zwiększoną dokładnością i znów wynik był negatywny. W tym czasie Frederick Trouton i H. R. Noble bezskutecznie usiłowali wykryć moment siły działający na naładowany kondensator zawieszony pod różnymi kątami w stosunku do kierunku ruchu orbitalnego Ziemi. Te kolejne negatywne rezultaty zmusiły Lorentza do przeformułowania teorii elektronowej. Do 1904 r. sformułował wzory transformacyjne zapewniające pełną niezmienniczość równań Maxwella we wszystkich inercjalnych układach odniesienia. Pewne popełnione przez niego błędy zostały poprawione przez Henri Poincarégo w artykule „Sur la dynamique de l'électron” (1905) – i tam znajdujemy teorię, która z czysto matematycznego punktu widzenia jest identyczna ze szczególną teorią względności Einsteina.

W pierwszych latach XX w. nie było fizyków, którzy by wątpili w istnienie eteru (poza Ernstem Machem, który tak w eter, jak i w atomy wątpił z powodów filozoficznych). Jak mówił Poincaré w 1904 r.: „Nie wiemy nic o eterze, jak są rozmieszczone jego cząsteczki, czy się przyciągają czy odpychają; wiemy jednak, że ten ośrodek przenosi jednocześnie zaburzenia optyczne i zaburzenia elektryczne; wiemy, że to przenoszenie musi być zgodne z ogólnymi zasadami mechaniki i to wystarcza nam do ustalenia równań pola elektromagnetycznego”. Sytuacja była więc osobliwa: znano równania Maxwella, znano prawa optyki, choć nie wiedziano nic o budowie eteru, w którym miały zachodzić zjawiska elektromagnetyczne, w tym świetlne. Na temat tej budowy prowadzono liczne spekulacje, nie prowadziły one jednak do zadowalających rezultatów. Gdy stwierdzano, że ruch Ziemi nie wpływa na przebieg zjawisk świetlnych w pobliżu jej powierzchni, sądzono, że jest tak dlatego, iż jakieś nieznanne procesy w eterze kompensują wpływ ruchu. Ale znów: analiza matematycznych własności równania falowego (co jako pierwszy uczynił Waldemar Voigt w 1887 r.), a także samych równań Maxwella, prowadziły do wzorów transformacyjnych niezależnie od spekulacji dotyczących budowy eteru i procesów w nim zachodzących.

Z punktu widzenia Lorentzowskiej teorii eteru (o ile w ogóle można tu mówić o teorii) poruszające się ciała rzeczywiście kurczyły się w kierunku ruchu, tyle że kurczyły się też przyłożone do nich przyrządy pomiarowe – a w rezultacie zmiana rozmiarów była nieobserwowalna. Podobnie czas „lokalny” badanych zjawisk biegł wolniej, ale identycznie spowalniał się każdy z dostępnych zegarów – i spowolnienie czasu pozostawało w danym układzie odniesienia niezauważalne. Kompensowane też były wszelkie inne zmiany. Tak więc w układzie odniesienia poruszającym się ruchem jednostajnym względem eteru wszystkie zjawiska, zarówno mechaniczne, jak i elektromagnetyczne, miały na poziomie zjawiskowym tak, jak gdyby ten układ był względem eteru nieruchomy – choć „w rzeczywistości” przebiegały inaczej.

Rozważmy ważny przykład. Jeśli w przewodniku, który porusza się względem magnesu, powstaje prąd elektryczny, to z punktu widzenia teorii Lorentza zachodzić mogą dwa przypadki graniczne. Na ładunki elektryczne działają wg tej teorii siły wyrażające się wzorem  $\mathbf{F} = e\mathbf{E} + e\mathbf{v} \times \mathbf{H}$ , gdzie  $e$  – ładunek elektronu,  $\mathbf{E}$  i  $\mathbf{H}$  – natężenia pól elektrycznego i magnetycznego,  $\mathbf{v}$  – prędkość ruchu ładunku w polu magnetycznym. Może zdarzyć się tak, że względem eteru przewodnik jest nieruchomy, a porusza się w nim magnes. Wtedy magnes oprócz pola magnetycznego wytwarza, zgodnie z równaniami Maxwella, wirowe pole elektryczne, które działa na elektrony w

przewodniku siłą  $e\mathbf{E}$ , a w rezultacie powstaje prąd elektryczny. Ale może się też zdarzyć, że to magnes spoczywa względem eteru, a porusza się przewodnik. Wtedy magnes wytwarza tylko pole magnetyczne, zaś na elektrony w przewodniku działa siła  $e\mathbf{v} \times \mathbf{H}$ . Mamy więc „na powierzchni” identyczne zjawiska, choć „w głębi” dzieje się coś innego.

Na tę historię nałożyła się inna, dotycząca wzrostu mas naelektryzowanych ciał w ruchu, czemu początek dały spekulacje J. J. Thomsona jeszcze z 1881 r. Teoria Maxwella przypisuje polom elektrycznemu i magnetycznemu zarówno pęd, jak i energię – które interpretowano jako pęd i energię (nieznanych) mechanicznych procesów przebiegających w eterze. Jeśli elektron spoczywa względem eteru, to wytwarza w nim tylko pole elektryczne, ale jeśli się porusza, to wytwarza też pole magnetyczne – o natężeniu rosnącym z prędkością – poruszające się wraz z nim. A taki układ ma pęd i energię większe niż pęd i energia samego elektronu i jego pola elektrycznego, co w eksperymencie powinno się ujawnić jako towarzyszący wzrostowi prędkości wzrost bezwładności ciała. Koncepcję tę rozwijali ok. 1890 r. Heaviside, J. J. Thomson, Emil Wiechert i inni. Zaczęto mówić, że masa elektronu składa się z niezmiennej „masy bezwładnej” i rosnącej z prędkością „masy elektromagnetycznej”. W 1900 r. Wilhelm Wien wyraził przypuszczenie, że być może cała masa elektronu jest masą elektromagnetyczną, która rośnie wraz ze wzrostem prędkości względem eteru.

W 1897 r. J. J. Thomson odkrył cząstki zwane dziś „elektronami”. Ilościowe teorie wzrostu masy elektronu z prędkością budowali, począwszy od 1902 r. Max Abraham, Alfred Bucherer, Paul Langevin i Lorentz. Uzyskiwane wzory zależały od szeregu hipotez co do kształtu tej cząstki i rozkładu w niej ładunku elektrycznego, a także co do ewentualnych deformacji, jakim ulega elektron w ruchu. Od 1900 r. W Kaufmann prowadził eksperymenty, w których badał odchylenia strumieni szybko poruszających się elektronów w polach elektrycznym i magnetycznym, co pozwalało na pomiar stosunku masy do ładunku tych cząstek. Już pierwsze wyniki świadczyły o tym, że ten stosunek rośnie z prędkością, co przy założeniu o niezmienności ładunku potwierdzało tezę o wzroście masy. Co więcej, już te obciążone dużym błędem eksperymenty sugerowały, że wraz z prędkością rośnie cała masa, a nie tylko jej część. I stąd wniosek, jaki ze wspomnianych analiz teoretycznych i wyników eksperymentów, wyprowadził w 1904 r. J. J. Thomson: „(...) cała masa ciała jest masą otaczającego je eteru, który unoszony jest przez rurki Faradaya związane z atomami ciała. W istocie rzeczy cała masa jest masą eteru, cały pęd pędem eteru, a cała energia kinetyczna energią kinetyczną eteru” (*Electricity and Matter*). Liczne podobne twierdzenia znajdujemy w pismach innych fizyków z tego okresu – i coraz głośniej rozlegały się pytania, czy wszystko, co jest, nie zostało stworzone z eteru? Osobliwe jest to, że gdy teoria eteru wzniosła się na szczyty, gdy wyglądało na to, że stanie się podstawą całej fizyki, nagle runęła w przepaść.

**5. Teoria względności i usunięcie eteru z naukowego obrazu świata.** Choć wzory, jakie Albert Einstein podał w artykule „O elektrodynamice ciał w ruchu” (1905), są identyczne z tymi z prac Lorentza, Larmora i Poincarégo, to szczególna teoria względności wprowadzała rewolucyjnie odmienną ontologię. Jak Einstein pisał na w uwagach otwierających tekst, „Wprowadzenie 'eteru świetlnego' okazuje się zbyteczne, gdyż przedstawiony tu pogląd nie wymaga ani istnienia 'przestrzeni w absolutnym spoczynku', obdarzonej szczególnymi właściwościami, ani przypisania wektora prędkości punktowi w pustej przestrzeni, gdzie zachodzą procesy elektromagnetyczne”. Trochę to przesada, bo przecież nie w każdej koncepcji eter miał być absolutnie nieruchomy, niemniej zmiana pojęciowa, która się za tym stwierdzeniem kryła, była fundamentalna. Pole elektromagnetyczne podniesione zostało – by użyć języka filozofów – do rangi substancji, tego, z czego, obok innych substancji, zrobiony jest świat. Zyskało ono byt samoistny, nieredukowalny do czegokolwiek innego; stało się czymś, co istnieje samo przez się, a nie jako proces w eterze. A skoro eter znikł, to wszystkie układy odniesienia stały się równorzędne. Przestało mieć sens mówienie po prostu, że coś jest nieruchome, a coś się porusza – trzeba było mówić, że coś jest w ruchu lub bezruchu względem czegoś innego (i stąd nazwa: teoria „względności”).

Ogłoszenie szczególnej teorii względności zrazu nie wywołało odzewu, a pierwsze reakcje były raczej wrogie. Kaufmann w 1906 r. ogłosił, że jego pomiary wzrostu masy elektronu z prędkością potwierdzają teorię Abrahama i Bucherera, a obalają teorię Lorentza i Einsteina. Zaś

Poincaré podczas spotkania z Einsteinem w 1911 r. wyrażał w stosunku do teorii względności zdecydowaną dezaprobatę. Jednak Einstein w 1916 r. ogłosił też ogólną teorię względności, która zyskała dramatyczne potwierdzenie doświadczalne, gdy w 1919 r. wykonano zdjęcia nieba podczas całkowitego zaćmienia Słońca. A że teoria ta wyjaśniała też anomalny dla fizyki klasycznej ruch perihelium Merkurego, to szybko zyskała uznanie. Przy okazji uznanie zyskała jej młodsza siostra, czyli teoria szczególna. (Choć osobliwe urazy sprawiły, że Einstein ani za teorię szczególną, ani za ogólną, nie otrzymał nagrody Nobla!) W rezultacie od lat 1920-ch eter znikł z obrazu świata kolektywu myślowego fizyków.

Od tego czasu eter stał się ulubioną substancją pseudonaukowców. Część z nich ustaje w wysiłkach wykazania, iż szczególna teoria względności jest błędna, co często łączą z twierdzeniem, że eter jednak istnieje i w związku z tym istnieją też absolutny czas, absolutne odległości przestrzenne i absolutne ruchy. Na przełomie XIX i XX w. wiele też było o eterze mowy w pismach teozofów czy spirytualistów, skąd wiele twierdzeń przeszło do współczesnej parapsychologii czy tej plątaniny doktryn parareligijnych, które określa się mianem ruchów Nowej Ery.

### **Literatura**

Hirosige, Tetu (1974), „The Ether Problem, the Mechanistic Worldview, and the Origins of the Theory of Relativity”, *Historical Studies in the Physical Sciences* 7: 3-83.

Schaffner, Kenneth F. (1972), *Nineteenth-century Aether Theories*, Oxford: Pergamon Press.

Whittaker, Edmund Taylor (1910), *A History of the Theories of Aether and Electricity*, Dublin: Longman, Green and Co.

Wróblewski, Andrzej Kajetan (2006), *Historia fizyki*, Warszawa: Wyd. Nauk. PWN.