

Dołęga, Józef M.

Z empirycznej fenomenologii ruchu

Studia Teologiczne 2, 235-255

1984

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

KS. JÓZEF M. DOŁĘGA

Z EMPIRYCZNEJ FENOMENOLOGII RUCHU

Treść: I. Wstęp; II. Znaczenie problematyki ruchu w teoriach fizyki: 1. Fizyka Arystotelesa, 2. Fizyka I. Newtona, 3. Fizyka A. Einsteina, 4. Fizyka kwantowa; III. Próba klasyfikacji ujęć ruchu we współczesnej fizyce; IV. Zakończenie.

I. WSTĘP

Zjawisko ruchu, występujące w przyrodzie, narzuca się z oczywistością naszym władzom poznawczym w bezpośredniej obserwacji, stało się przedmiotem szczególnego zainteresowania w nauce od początku jej istnienia. Już w starożytnej myśli naukowej spotykamy zagadnienie ruchu, jego opis i sposoby wyjaśniania; w wiekach średnich problematyka ruchu weszła do kinetycznej argumentacji za istnieniem Boga a w czasach nowożytnych sformułowane prawa ruchu przez I. Newtona stały się podstawą fizyki klasycznej.

Podjmując zagadnienie ruchu, należy uwzględnić rozróżnienie metodologiczne płaszczyzn poznania, w których problem ruchu może być rozpatrywany. I tak: ruch ujmowany jako zmiana, jako przejście z możliwości do aktu jest przedmiotem badań w metafizyce; ruch rozumiany w znaczeniu ścisłym, jako ruch ilościowy, jakościowy i lokalny, realizujący się sukcesywnie w czasie, stanowi natomiast zjawisko ruchu jest podstawowym przedmiotem badań w płaszczyźnie poznania empiriologicznego charakterystycznego szczegółowym naukom przyrodniczym.

Mając na uwadze znaczenie problematyki ruchu w teoriach fizyki, możemy przytoczyć opinię Czesława Białobrzeskiego, który stwierdza, że zjawisko ruchu, zwłaszcza w sferze astronomicznej „już w zaraniu dziejów obudziło ciekawość poznawczą człowieka, uwidocznili mu wieczne i niezmiennie prawa rządzące we wszechświecie. Takim prawom pod-

legają ruchy ciał niebieskich i skutkiem tego zjawisko ruchu wysunęło się na pierwszy plan w fizyce, która dąży do ustanowienia ogólnych praw tłumaczących wszystkie zjawiska przyrody”.¹ Zjawisko ruchu i problemy z nim związane oraz prawa są czymś podstawowym w naukach przyrodniczych, a ruch ujęty w znaczeniu ścisłym jest dobrą charakterystyką tego typu bytu, który występuje w obrębie przyrody.

Prezentowane tutaj znaczenie problematyki ruchu w teoriach fizyki jest ujęte w płaszczyźnie poznania empiriologicznego, która jest charakterystyczna poznaniu z zakresu szczegółowych nauk przyrodniczych, zwłaszcza w czasach nowożytnych i współczesnych. W niniejszym artykule uwzględniamy następujące teorie fizyki: Arystotelesa, I. Newtona, A. Einsteina i fizykę kwantową.

II. ZNACZENIE PROBLEMATYKI RUCHU W TEORIACH FIZYKI

1. Fizyka Arystotelesa

Problem ruchu w ujęciu Arystotelesa jest czymś podstawowym w jego fizyce. Nieznajomość tego problemu może być przyczyną niezrozumienia ogólniejszych praw przyrody.²

W ujęciu Arystotelesa ruchem jest wszelkie przejście od stanu potencjalnego do stanu aktualnego, a więc:

- 1 — *generatio* — powstawanie formy substancjalnej,
- 2 — *corruptio* — rozkład formy substancjalnej,
- 3 — *alteratio* — wzrost jakości,
- 4 — *augmentatio (diminutio)* — zmiana ilości,
- 5 — *motus localis* — zmiana miejsca.

Ruch, zachodzący w procesie zmian form substancjalnych (*generatio i corruptio*), został nazwany przez Arystotelesa przemianą (*mutatio*), Ogólną definicję ruchu sformułował on w sposób następujący: „Biorąc pod uwagę, że każdy rodzaj bytu może być wyróżniony jako w pełni urzeczywistniony, wobec tego urzeczywistnienie (*entelechia*) bytu potencjalnego jako takiego będzie zwane ruchem”³. Bliższe wyjaśnienie entelechii podał sam Arystoteles i uważał, że ona swoim zakresem ujmuje zmianę jakościową, zmianę wzrostu bądź przyrostu, zmianę powstawania i rozpadu oraz zmianę miejsca.⁴

Obok wspomnianych rozróżnień ruchu, Arystoteles wyodrębnił ruch

¹ *Podstawy poznawcze świata atomowego*, Warszawa 1956, s. 27. Por.: S. J. Twarowska, *Zagadnienia z zakresu filozofii fizyki i filozofii przyrody u Czesława Białobrzeskiego*, *Studia Philosophiae Christianae*, 5 (1969) nr 2 s. 141—158; J. M. Dołęga, *Z problematyki filozofii fizyki Czesława Białobrzeskiego*, *Studia Philosophiae Christianae*, 15 (1979) nr 1 s. 202—204.

² Arystoteles, *Fizyka*, Warszawa 1968, s. 65—93, 49—302.

³ Tamże, 66.

⁴ Por.: Arystoteles, *Fizyka*, s. 66—68; R. Palacz, *Od wiedzy do nauki*, Wrocław 1979, s. 40.

wymuszony i naturalny (*motus secundum naturam et motus violentus*). Ruch lokalny ciał naturalnych jest skierowany ku miejscom naturalnym. Ciała ciężkie kierują się ku dołowi, lżejsze — ku górze. W ruchu wymuszonym kierunki poruszanych ciał mogą być zróżnicowane. Zależne to jest od wielkości i kierunku działania siły zewnętrznej. Kiedy siła zewnętrzna przestaje działać, ciało zaczyna poruszać się według właściwego sobie naturalnego ruchu⁵. Sformułowanie to było podstawą dla późniejszej dynamiki.

Sformułowany przez Arystotelesa aksjomat o następującej treści: *omne quod movetur ab alio movetur* spełnia doniosłą rolę w myśleniu filozoficznym, zwłaszcza z zakresu filozofii Boga. Problem jednak powstaje wtedy, gdy brak przyczyny poruszającej a ruch trwa. Uważał Stagirita, że jeżeli znika siła poruszająca, to ruch powinien ustać⁷.

Na marginesie naszego zagadnienia należy zauważyć, że Arystoteles podał prawo równowagi dźwigni, w astronomii stworzył własny system sfer z centralnym położeniem Ziemi oraz pogłębił różnicę pomiędzy właściwościami Ziemi a sferami niebieskimi zbudowanymi z tak zwanej *quinta essentia*, która nie podlega zmianom ilościowym, jakościowym i substancjalnym. Pogląd ten przetrwał aż do XIV w.⁸

Analiza arystotelesowskiego prawa ruchu pozwala na wyróżnienie w nim następujących czynników:

- 1 — czynnika poruszającego (A),
- 2 — ciała poruszanego (B),
- 3 — drogi przebytej (s),
- 4 — czasu trwania ruchu (t).

Elementy te można zapisać w następującej formule:

$$A = B \cdot \frac{s}{t}$$

Zmieniając ten zapis zgodnie ze współczesną fizyką, możemy otrzymać podstawowe równanie dynamiki Arystotelesa, a mianowicie:

$$F = m \cdot v$$

gdzie F oznacza siłę, m — masę, v — prędkość.

Równanie to wyraża myśl, że siła jest potrzebna do podtrzymywania stałej prędkości ruchu. Dlatego aksjomat fizyki Arystotelesa wyra-

⁵ Arystoteles, *Fizyka*, 119—121, s. 254—260.

⁶ Arystoteles, *Fizyka*, s. 120—122.

⁷ Por. R. Palacz, *Dyskusja w krakowskim środowisku naukowym drugiej połowy XV w. nad ruchem ciał materialnych w próżni*. W: *Materiały i Studia Zakładu Historii Filozofii Starożytnej i Średniowiecznej*. t. 11, Wrocław 1969, s. 163—167.

⁸ Por.: R. Palacz, *Od wiedzy do nauki*, s. 44.

łał następującą treść: „cokolwiek się porusza, przez coś innego jest poruszane”⁹.

Okazało się, że dynamika Arystotelesa jest błędna, ponieważ nie zdołał on wyeliminować ze swoich doświadczeń myślowych oporu powietrza i tarcia. Natomiast tak ujęty problem ruchu pozwalał na opis jego w kategoriach przyczyny i skutku.

W ujęciu Arystotelesa ruch jest czymś absolutnym, jest kategorią arystotelesowskiej filozofii przyrody. Mimo to dostrzegał on względność ruchu w pewnym względzie, a mianowicie: względność czynnika poruszającego do ciała poruszanego i odwrotnie¹⁰.

Zasady ruchu Arystotelesa nie wyjaśniały ruchu jednostajnie przyspieszonego, ponieważ w ruchu tym ciało powinno osiągnąć prędkości nieskończenie wielkie, a to jest możliwe. Zagadnienie to zostało wyjaśnione w sposób pogłębiony dopiero w fizyce Alberta Einsteina.

2. Fizyka Izaaka Newtona

W ramach starożytnej i średniowiecznej teorii nauki fizyka Arystotelesa przetrwała do czasów nowożytnych. U progu okresu nowożytnego powstaje i utrwała się nowożytna teoria nauki. W ramach tej teorii powstaje klasyczna fizyka Izaaka Newtona¹¹. Problematyka badawcza Newtona skupia się wokół następujących dziedzin: filozofii, matematyki i fizyki a w dziedzinie fizyki wokół takich działów, jak: mechanika, optyka i astronomia.

W problematyce nas interesującej Newton jest twórcą trzech praw ruchu¹², zwanych czasem trzema zasadami dynamiki klasycznej lub dy-

⁹ Por.: M. Heller, *Materia — geometria*. W: M. Heller, M. Lubański, Sz. W. Słaga, *Zagadnienia filozoficzne współczesnej nauki*, Warszawa 1980, s. 192—193.

¹⁰ Arystoteles, *Fizyka*, s. 66, por. s. 149—154.

¹¹ Izaak Newton (1643—1727) angielski fizyk, astronom i matematyk, w latach 1669—1701 był profesorem uniwersytetu w Cambridge, od 1672 r. został członkiem Royal Society w Londynie i od 1703 r. jego prezesem, natomiast od 1699 r. został powołany na członka Francuskiej Akademii Nauk.

Najważniejszym dziełem Newtona jest *Philosophiæ naturalis principia mathematica* (1687), w nim zawiera się nauka o przestrzeni, czasie, masach, siłach, schemat rozwiązywania konkretnych problemów mechaniki, fizyki i astronomii. W dziele tym sformułował trzy zasady dynamiki (często nazywane prawami ruchu) oraz prawo powszechnego ciążenia. Na ich podstawie opracował teorię ruchu planet, uzasadnił trzy prawa J. Keplera (1571—1630), wyjaśnił zjawisko precesji oraz zjawisko przyływu i odpływu morza — ważne dla życia wyspiarzy. Drugie dzieło to *Optics* (1704), w którym sformułował zasady optyki geometrycznej, dyspersji światła, interferencji a w 1672 r. wysunął hipotezę korpuskularnej budowy światła. W 1701 r. opublikował pracę o skałi stopni ciepła i zimna, którą uważa się za początek nauki o cieple.

W dziedzinie matematyki Newton, obok A. W. Leibniza, jest współtwórcą rachunku różniczkowego i całkowego, opracował metodę numerycznego rozwiązywania równań, podał klasyfikację krzywych trzeciego stopnia na 72 rodzaje.

Poglądy Newtona w dziedzinie filozoficznej stały się podstawą teorii zwanej mechanicyzmem (por. M. Gliozzi, *Istoria fiziki*, Moskwa 1970, s. 128—152).

¹² Por. *Wielka Encyklopedia Powszechna*, t. 7, s. 715; R. Resnick, D. Halliday, *Fizyka*, t. 1, Warszawa 1974, s. 112—115, 117—124; J. Kociński, *Wstęp do fizyki współczesnej — Podstawy teoretyczne*, t. 1, Warszawa 1977, s. 27.

namiki Newtona. Zostały one sformułowane przez niego w 1687 r. a oto ich treść:

1. „Jeśli na ciało nie działają żadne siły lub działające siły się równoważą, to istnieje układ odniesienia, w którym ciało spoczywa lub porusza się ruchem jednostajnie prostoliniowym”;
lub porusza się ruchem jednostajnie prostoliniowym”;
2. „Zmiana pędu ciała jest proporcjonalna do przyłożonej siły”

$\frac{d(m \cdot \vec{v})}{dt} = \vec{F}$, w mechanice klasycznej równanie to sprowadza się do

postaci: $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$

gdzie: m oznacza masę ciała; v — prędkość ciała; a — przyspieszenie
 F — siłę działającą; t — czas;

3. „Każdemu działaniu towarzyszy równe mu, skierowane przeciwnie — przeciwdziałanie”, co można wyrazić w następującej formule:

$$\Delta(m \cdot v)_A = \Delta(m \cdot v)_B$$

gdzie: A i B oznaczają dwa ciała; $m \cdot v$ — pęd.

Ze sformułowań pierwszego i drugiego prawa ruchu wynika jego względność. Względność ta wyraża się tym, że do opisu ruchu potrzebny jest układ odniesienia, i to układ odniesienia specjalnej klasy, a mianowicie: układ inercjalny odniesienia¹³, w którym wszystkie ruchy mogą być przyspieszone lub zwolnione. Można by stwierdzić za Michałem Hellerem, że „... do opisu ruchu potrzebny jest układ odniesienia, (...) wraz z wyborem układu odniesienia pojęcie ruchu dopiero nabiera sensowności. Z chwilą gdy nie ma układu odniesienia pojęcie ruchu w ogóle jest bezsensowne”.¹⁴

Przy pomocy przekształceń Galileusza (Galileo Galilei, 1564—1642), zwanych transformacjami Galileusza, dochodzimy do stwierdzenia, że te prawa ruchu oraz inne prawa mechaniki klasycznej są takie same we wszystkich inercjalnych układach odniesienia — jest to klasyczna zasada względności.

Newton, obok grupy ruchów względnych (względem różnych układów odniesienia), wyróżnił ruch absolutny, podobnie jak — absolutny czas i absolutną przestrzeń.¹⁵ Ruch absolutny był odniesiony do przestrzeni absolutnej i mierzony absolutnym czasem a uzasadnienie takiego ruchu upatrywał Newton w siłach bezwładności.

¹³ Przez inercjalny układ odniesienia lub przez inercjalne układy odniesienia rozumiemy układy poruszające się względem siebie jednostajnie i prostoliniowo (por.: *Encyklopedia Fizyki*, t. 2, Warszawa 1973, s. 381; t. 3, Warszawa 1974, s. 383, dalej cyt. EF).

¹⁴ *Materia — geometria*, s. 193.

¹⁵ Por. M. Haller, *Materia — geometria*, s. 196—197.

Teoria Newtona o absolutności czasu, przestrzeni i ruchu utrwaliła się w nauce i przetrwała do początku XX w. Zastosowanie tej teorii istniało i do dziś istnieje w mechanice klasycznej.¹⁶ Nadto należy stwierdzić za Cz. Białobrzeskim¹⁷, że prawa ruchu Newtona mają zastosowanie w astronomii (mechanika nieba), w mechanice sfery makroskopowej, w teorii sprężystości, w hydrodynamice, w areodynamice, w akustyce oraz „są dobrym przybliżeniem do rzeczywistych stosunków w przyrodzie, jeżeli ruchy, z którymi mamy do czynienia, zachodzą z prędkościami niezbyt zbliżonymi do prędkości światła”.¹⁸

Z krytyką pojęcia absolutnej przestrzeni i absolutnego czasu wystąpił Gottfried Wilhelm Leibniz (1646—1716), który uważał, że czas i przestrzeń są względne i mają sens tylko względem materii. Uważał on przestrzeń za porządek współistnienia rzeczy a czas za porządek ich następstwa¹⁹. Stąd przestrzeń i czas można uważać za własności lub atrybuty materii.

Odnosnie do absolutności ruchu z krytyką wystąpił George Berkeley (1685—1753), który uważał w ramach swego systemu filozoficznego przestrzeń absolutną i czas absolutny za „abstrakcyjne idee, które w ujęciu I. Newtona posiadają charakter „obiektów”. Odnosnie ruchu uważał on, że istnieją tylko ruchy względne.²⁰

Dokładniejszej krytyce absolutność ruchu poddał Ernest Mach (1838—1916), uważając, że nie można odnosić prawa bezwładności do przestrzeni absolutnej, ale raczej do wzajemnego związku wszystkich mas we Wszechświecie — była to idea względności masy, którą A. Einstein nazwał zasadą Macha²¹.

3. Fizyka Alberta Einsteina

1. Od osiągnięć i ustaleń fizyki I. Newtona do opublikowania pracy Alberta Einsteina zawierającej podstawowe idee szczególnej teorii względności upłynęło 218 lat. W tym czasie rozwój fizyki, a zwłaszcza ustalenie już w XVII w. prędkości światła w próżni ($c=3000\ 000$ km/sek), następnie uzasadnienie teoretyczne J. C. Maxwella²² (1831—1879) istnieje

¹⁶ Tenże, s. 199.

¹⁷ *Podstawy poznawcze świata atomowego*, s. 28.

¹⁸ Tamże, s. 29.

¹⁹ G. W. Leibniz, *Wyznanie wiary filozofa*, Warszawa 1969, s. 336, 363, 379, 394; por.: M. Heller, *Materia-geometria*, s. 197—198.

²⁰ G. Berkeley, *Traktat o zasadach poznania ludzkiego — Trzy dialogi między Hylasem i Filonansem*, Warszawa 1956, s. 113—114, 119—120; por. M. Heller, *Materia-geometria*, s. 198.

²¹ E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, Leipzig 1886, s. 220; por.: M. Heller, *Materia-geometria*, s. 198.

²² James Clerk Maxwell (1831—1879), fizyk angielski od 1856 r. profesor uniwersytetu w Aberdeen, od 1871 r. był profesorem w Cambridge, w latach 1860—1865 wykłada w Kings College w Londynie oraz jest organizatorem i pierwszym kierownikiem Cavendish Laboratory.

Główne osiągnięcia Maxwella dotyczą fizyki molekularnej, optyki, teorii sprężystości i elektromagnetyzmu. Znane i sformułowane przez niego prawa to: prawo

nia fal elektromagnetycznych i potwierdzenie empiryczne istnienia ich przez H. R. Hertza²³ (1857—1894) oraz doświadczenia A. H. L. Fizeau²⁴ (1819—1896) i A. A. Michelsona (1852—1931) — E. W. Morleya²⁵ (1838—1923) — doprowadziły do kryzysu klasyczną teorię eteru. Wnosik płynące z tych doświadczeń, opracowane w ramach fizyki klasycznej, okazały się sprzeczne, co zostało potwierdzone przez dalsze doświadczenia. Zatem eter powinien posiadać nie dające się ze sobą pogodzić własności. Fizyka klasyczna nie mogła tego wyjaśnić²⁶

2. Trudności te wyjaśnił Albert Einstein²⁷ (1879—1955) w 1905 r.,

rozkładu prędkości cząsteczek gazu (1860), zasada wzajemnych przemieszczeń (1864), równania stanowiące podstawę teorii pola elektromagnetycznego (1864), teoria elektromagnetycznej natury światła (1865) por.: EF, t. 1, s. 470, 472, 474, 476; t. 2, s. 210, 286, t. 3, s. 175, 527.

²³ Heinrich Rudolf Hertz (1857—1894) fizyk niemiecki, profesor w Karlsruhe w latach 1885—1889 oraz od 1889 na uniwersytecie w Bonn. Główne badania naukowe Hertza skupiają się wokół fal elektromagnetycznych, które po raz pierwszy wytworzył w 1887 r. przy pomocy tak zwanego oscylatora Hertza, badał ich własności, tworząc podstawy radiokomunikacji, w 1887 r. odkrył zewnętrzne zjawisko fotoelektryczne oraz kontynuował prace z zakresu zagadnień mechaniki teoretycznej (por.: EF, t. 1, s. 751, 366; t. 2, s. 606; t. 3, s. 838).

²⁴ Armand Louis Hippolyte Fizeau (1819—1896), fizyk francuski, który prowadził badania naukowe głównie z dziedziny optyki i w tym zakresie dokonał pierwszy w 1849 r. pomiaru prędkości światła w warunkach ziemskich oraz w ośrodkach ruchomych. Wspólnie z J. B. Foucaultem (1819—1868) odkrył prążki absorcyjne w podczerwonej części widma słonecznego.

Doświadczenie Fizeau dotyczy badania wpływu ruchu środka na prędkość rozchodzącego się w nim światła (zob.: EF, t. 1, s. 588; t. 2, s. 607).

²⁵ Albert Abraham Michelson (1852—1931), fizyk amerykański, który pracował od 1889 r. w Uniwersytecie Cleveland, a w latach 1892—1929 w Chicago. Edward Williams Morley (1838—1923), amerykański fizyk i chemik, w latach 1869—1908 był profesorem w Western Reserve University. Główne jego badania naukowe dotyczyły zawartości tlenu w atmosferze. Określił ciężar właściwy tlenu i wodoru.

Doświadczenie Michelsona-Morleya miało na celu wykrycie wpływu ruchu orbitalnego Ziemi na prędkość światła. Wynik doświadczenia ostatecznie rozstrzygnął spór co do istnienia eteru kosmicznego oraz stał się podstawą do teorii względności, w której przyjmuje się stałą prędkość światła we wszystkich inercjalnych układach odniesienia. Doświadczenie to przeprowadzili w 1887 r. natomiast wstępny pomiarów dokonał Michelson w 1881 r. (por.: EF, t. 2, s. 343; t. 2, s. 607; t. 1, s. 821; t. 3, s. 310, 352; V. Asosta, C. L. Cowan, B. J. Graham, *Podstawy fizyki współczesnej*, Warszawa 1981, s. 49—59; dalej cyt. *Podstawy fizyki współczesnej*).

²⁶ Por.: M. Heller, *Materia-geometria*, s. 212—218.

²⁷ Albert Einstein (1879—1955) był jednym z największych fizyków wszystkich czasów, ukończył studia politechniczne w Zurychu i pracował w urzędzie patentowym w Brnie. W 1905 r. opublikował pracę: *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, w której zawarł szczególną teorię względności. W tym samym roku opublikował pracę na temat ruchów Browna, korpuskularną teorię światła oraz wykazał zależność pomiędzy masą a energią wyrażoną w znanym równaniu Einsteina $E=mc^2$. Po ogłoszeniu tych prac w 1909 r. został profesorem uniwersytetu w Zurychu a w 1911 r. w Pradze, natomiast w 1913 r. został członkiem Berlińskiej Akademii Pruskiej. Tutaj pracował nad relatywistyczną teorią grawitacji, którą opublikował w 1916 r. jako ogólną teorię względności. W 1921 r. otrzymał nagrodę Nobla za pracę nad korpuskularną teorią natury światła. W 1932 r. opuszcza Niemcy i obejmuje stanowisko profesora w Institute of Advanced Study w Princeton (USA). Do końca życia pracował nad unitarną teorią pola łączącą pole grawitacji z innymi polami, jednak prace te nie zostały zakończone sukcesem. (por.: EF, t. 1, s. 47, 189, 458, 643; t. 2, s. 19, 89; t. 3, s. 42, 288, 755; S. Mazierski *Wyprowadzenie* (100-lecie urodzin Alberta Einsteina — Sympozjum naukowe KUL),

publikując swoją pracę pt. *O elektrodynamice ciał w ruchu* — tutaj zawarte zostały podstawowe idee szczególnej teorii względności. W pracy tej wysunął nowe pojęcia: czasu i przestrzeni, odrzucając pojęcie czasu absolutnego i pojęcie przestrzeni absolutnej, połączył je w jedno pojęcie czterowymiarowej czasoprzestrzeni.

Teoria ta powstała w wyniku uznania przez A. Einsteina wspomnianych wyżej doświadczeń, a mianowicie: odrzucenie teorii eteru, uznanie stałej prędkości światła (c) we wszystkich inercjalnych układach odniesienia, a ekstrapolując to można dojść do stwierdzenia, że wszystkie prawa fizyki powinny identycznie być sformułowane w każdym inercjalnym układzie odniesienia — jest to Einsteinska zasada względności. Einstein stwierdził przede wszystkim, że jego zasadę względności spełniają równania Maxwella.

Idąc za koncepcją Michała Hellera, należy stwierdzić, że „szczególna teoria względności jest logiczną konsekwencją dwóch założeń:

- 1 — stałości prędkości światła, niezależnie od ruchu układu;
- 2 — einsteinowskiej zasady względności.

Cała jej reszta wynika drogą matematycznej dedukcji z tych dwóch założeń”²⁸. Inaczej mówiąc, szczególna teoria względności jest fizyczną teorią czasu i przestrzeni.

Drugim sukcesem Einsteina (obok wspomnianych w przepisie 27) była ogólna teoria względności, opisująca czasoprzestrzeń wypełnioną materią, która jest źródłem pola grawitacyjnego — stąd ogólna teoria względności jest fizyczną teorią czasu, przestrzeni (w każdym inercjalnym układzie odniesienia) i grawitacji.

Do podstawowych twierdzeń w ogólnej teorii względności należy zaliczyć następujące:²⁹

- 1 — pole grawitacyjne interpretujemy jako zakrzywienie czasoprzestrzeni;
- 2 — źródłem pola grawitacyjnego jest rozkład mas, energii i pędów — to rozkład ten zakrzywia czasoprzestrzeń i określa ruchy w tej czasoprzestrzeni — wyraża to sformułowane przez Einsteina równanie pola grawitacyjnego³⁰;
- 3 — w polu grawitacyjnym zawsze można wybrać taki układ odniesienia, w którym to pole lokalnie znika (wolno spadające układy odniesienia w polu grawitacyjnym);
- 4 — pole przyspieszeń jest lokalnie równoważne polu grawitacyjnemu (przyspieszony nagle pojazd kosmiczny).

Twierdzenia trzecie i czwarte tworzą zasadę równoważności.

Roczniki Filozoficzne, 28 (1980) nr 3 s. 7—10, L. Infeld, *Albert Einstein*, Warszawa 1956.

²⁸ *Materia-geometria*, s. 271.

²⁹ Tamże, s. 239—242.

³⁰ Por. EF, t. 2, s. 89—92.

3. Szczególna teoria względności i ogólna teoria względności służy do opisu różnego rodzaju ruchów, podkreślając w opisie pewną ich względność.

Czasoprzestrzeń jest dobrym narzędziem do badania różnego rodzaju ruchów. Oto jak to zagadnienie charakteryzuje M. Heller: „W czasoprzestrzeni otrzymuje się obraz ruchu jakby „całego ńa raz”. Czasoprzestrzenne wykresy ruchu (tzw. wykresy Minkowskiego³¹) zdają sprawę z tego, w jakiej chwili, gdzie poruszający się punkt znajdował i jaką miał prędkość”³². W przestrzeni trójwymiarowej można określić tor poruszającego się punktu, ale nie można odczytać ani współrzędnej czasu, ani prędkości, którą punkt ten w danej chwili posiada. Dlatego czasoprzestrzeń jest doskonalszym sposobem opisu ruchu. Krzywe, obrazujące ruch w czasoprzestrzeni, nazywają się liniami świata — nazwę tę wprowadził H. Minkowski³³ — które przedstawiają, co dzieje się z danym punktem materialnym.

W ogólnej teorii względności źródłem pola grawitacyjnego jest rozkład mas, energii i pędów. Źródło to odkształca czasoprzestrzeń, przez co określa ruchy materii w czasoprzestrzeni³⁴ według równania pola grawitacyjnego:

$$R_{ik} - \frac{1}{2} R_{gik} = -\chi T_{ik}$$

gdzie: R_{ik} — składowa tensora drugiego rzędu powstałego z operacji zwiężenia tensora krzywizny Riemanna czwartego rzędu (operacja zwiężenia obniża rząd tensora o dwa);

R — skalar powstały przez dwukrotne wykonanie operacji zwiężenia na tensorze Riemanna;

g_{ik} — składowa tensora metrycznego (znając składowe tego tensora potrafimy napisać metrykę danej czasoprzestrzeni);

T_{ki} — składowa tensora energii-pędu (opisuje on rozkład energii, pędów i mas w rozważanym układzie fizycznym);

χ — jest stałą „sprzężenia” geometrycznej struktury czasoprzestrzeni (einsteinowska stała grawitacji).

Zagadnienie względności ruchu wynika z efektów relatywistycznych i z transformacji Lorentza. Takie efekty w szczególnej teorii względności

³¹ Por. EF, t. 2, s. 381—382. Na temat znaczenia geometrii w fizyce zob. A. Trautman, *Einstein a geometryzacja fizyki*, Roczniki Filozoficzne, 28 (1980) nr 3 s. 11—13 dalej cyt. RF).

³² *Materia-geometria*, s. 232—234.

³³ Por. EF, t. 2, s. 197—198.

³⁴ Por. M. Heller, *Materia-geometria*, s. 240.

ci, jak zwolnienie czasu,³⁵ skrócenie długości,³⁶ są przejawem względności ruchu, mają aspekt kinetyczny.³⁷ Natomiast symetria transformacji Lorenza³⁸ odzwierciedla zasadę względności ruchu. Wszystko jedno czy jeden układ uważamy za nieruchomy a drugi za oddalający się (zmienia się tylko kierunek prędkości).³⁹ Ta zasada względności ruchu odnosi się do układu odniesienia i układu związanego z obserwatorem.

Ogólna teoria względności została potwierdzona przez testy obserwacyjne, a mianowicie: zakrzywienie promieni świetlnych, przesunięcia orbit planet, zwolnienie drgań atomów. Empiryczne testowanie różnych teorii grawitacji wykazuje, że ogólna teoria względności jest — na obecnym etapie nauki — najlepszą teorią grawitacji.⁴⁰

4. Fizyka kwantowa

1. Przed powstaniem fizyki kwantowej pod koniec XIX w. światło uważano za falę elektromagnetyczną. Rozchodzenie tej fali opisywały, równania Maxwella,⁴¹ a falową naturę światła potwierdzały doświadczenia Thomasa Younga.⁴²

Jednak badania nad promieniowaniem ciała doskonale czarnego⁴³ pozwoliły 14 XII 1900 r. Maxowi Planckowi⁴⁴ sformułować założenie, że promieniujące elementy materii wysyłają lub pochłaniają światło o charakterystycznych częstościach i mogą pochłaniać lub tracić energię (E) tylko porcjami, według wzoru:

$$E = h\nu$$

gdzie h — stała Plancka ($6,6256 \cdot 10^{-27}$ erg · s);

ν — częstość.

Dalej zjawisko fotoelektryczne⁴⁵ pozwoliło Phillipowi Lenardowi⁴⁶ na ustalenie dwu praw:

³⁵ Zwolnienie czasu w ogólnej teorii względności, zob.; EF, t. 2, s. 207.

³⁶ Skrócenie długości w ogólnej teorii względności, zob. EF, t. 2, s. 206. Na temat weryfikacji teorii Einsteina, zob. M. Subotowicz, *Weryfikacja ogólna teorii względności*, RF, 28 (1980) nr 3 s. 45—65.

³⁷ M. Heller, *Materia-geometria*, 228.

³⁸ Transformacje Lorentza nazywane często przekształceniami Lorentza, por.: EF, t. 2, s. 206—209.

³⁹ M. Heller, *Materia-geometria*, s. 219.

⁴⁰ Tamże, s. 242.

⁴¹ Równania Maxwella, zob. EF, t. 1, s. 470—477; t. 2, s. 210, 286, 607.

⁴² Thomas Young (1773—1829) — jeden z twórców falowej teorii światła. Doświadczenie jego jest pierwszym interferentnym doświadczeniem, również on pierwszy wyznaczył w przybliżeniu długość fali świetlnej (por.: EF, t. 3, 425).

⁴³ Ciało doskonale czarne pochłania całkowicie padający na nie strumień promieniowania — niezależnie od składu widmowego tego strumienia i temperatury ciała. Współczynnik pochłaniania ciała doskonale czarnego w dowolnej temperaturze równa się jedności (EF; t. 1, s. 244—245; t. 2, s. 21, 699; t. 3, s. 464, 710).

⁴⁴ Por. M. Heller *Materia-geometria*, s. 269—271.

⁴⁵ Zjawisko fotoelektryczne, zob. EF, t. 1, s. 277—278, 601—606.

⁴⁶ Por. M. Heller, *Materia-geometria*, s. 271. Philipp Lenard (1862—1947) fizyk niemiecki, który prowadził badania nad zjawiskiem fotoelektrycznym zew-

1. Liczba fotoelektronów jest proporcjonalna do natężenia światła;
2. Energia kinetyczna fotoelektronów nie zależy od natężenia padającego światła lecz od jego częstotliwości.

Inaczej mówiąc każdy kwant (foton) światła niesie energię równą $h\nu$ i jest ona przekazywana elektronowi w całości — tak zinterpretował zjawisko fotoelektryczne A. Einstein⁴⁷.

Następne zjawisko Comptona⁴⁸ doprowadziło do stwierdzenia korpuskularnej natury światła. Z kolei Ludwik de Broglie około 1923 r. wysunął hipotezę o dwoistej: falowej i korpuskularnej, naturze całej materii⁴⁹. Doświadczenia Davidsona i Germera⁵⁰ oraz Thomsona⁵¹ potwierdziły falową naturę wiązki elektronów.

Znane modele atomu Thomsona⁵² i Rutherforda⁵³ nie wyjaśniały trudności związanych z opisem jego budowy. Dopiero w 1913 r. Niels

nętrznym oraz zapoczątkował w 1902 r. badania nad przenikaniem elektronów przez materię, wykładając na uniwersytecie we Wrocławiu, Kolonii i Heidelbergu.

⁴⁷ Por. M. Meller, *Materia-geometria*, s. 271. Na temat relacji Einsteina do fizyki kwantowej zob. J. Rayski, *Stosunek Einsteina do teorii kwantów*, RF, 28 (1980) nr 3 s. 27—31.

⁴⁸ Zjawisko Comptona polega między innymi na tym, że w wyniku zderzenia sprężystego pojedynczego fotonu z elektronem następuje przekazanie części pędu i energii tego fotonu elektronowi. Zjawisko to zachodzi również przy rozpraszaniu fotonów na innych cząstkach, np. protonach. Przy rozpraszaniu Comptonowskim długość fali wzrasta (energia fotonu maleje), a jednocześnie wzrasta energia elektronów odrzutu (por.: EF, t. 1, s. 277—278).

⁴⁹ Por. M. Heller, *Materia-geometria*, s. 272—275.

⁵⁰ Doświadczenie Davissona--Germera. Clinton Joseph Davisson (1881—1958), fizyk amerykański, który w latach 1917—1945 był pracownikiem naukowym w Bell Telephone Laboratories, a od 1947 r. był profesorem uniwersytetu w Richmond. Lester Halbert Germer (1896—1971), fizyk amerykański, który pracował w Bell Telephone Laboratories od 1930 r. jako pracownik naukowy. W 1927 r. przeprowadzili doświadczenie z dyfrakcją elektronów, które było pierwszym eksperymentem, potwierdzającym falową naturę elektronów. Należy nadmienić w tym miejscu, że Davisson wraz z G. P. Thomsonem otrzymali za odkrycie różnymi metodami dyfrakcji elektronów, nagrodę Nobla (EF, t. 1, s. 315—316).

⁵¹ George Paget Thomson (1892—1975), fizyk angielski, był profesorem w latach 1922—1930 na uniwersytecie w Aberdeen, w latach 1930—1952 w Londynie, a w latach 1952—1962 w Cambridge. Badania naukowe prowadził on głównie w zakresie promieni X, fizyki przyszałów, fizyki jądrowej. W 1927 r. odkrył dyfrakcję elektronów niezależnie od wspomnianych wyżej fizyków, za co w 1937 r. otrzymał nagrodę Nobla (por.: EF, t. 1, s. 399—400).

⁵² J. J. Thomson odkrył w 1898 r. elektron i zaproponował model atomu w postaci „ciastka z rodzynkami”. Atom był dodatnio naładowanym ciastkiem, a rodzynki stanowiły ujemnie naładowane elektrony, natomiast cały układ był elektrycznie obojętny (por. *Podstawy fizyki współczesnej*, 141).

⁵³ Model atomu Ernesta Rutherforda (1871—1937) jest nazwany jądrowym modelem atomu, ponieważ w modelu tym zakłada się, że atom składa się z bardzo małego jądra dodatnio naładowanego i zawierającego większą część masy atomu (rozmiary jądra 10^{-14} m) oraz z chmury ujemnie naładowanych elektronów otaczających jądro (rozmiary są rzędu 10^{-10} m).

E. Rutherford pochodził z Nowej Zelandii, pracował w Trinity College pod kierunkiem J. J. Thomsona. W latach 1898—1907 był profesorem na Uniwersytecie McGill; w 1907—1919 — dyrektorem laboratorium fizycznego Uniwersytetu Victoria; w latach 1919—1937 dyrektorem Laboratorium Cavendisha. W 1908 r. otrzymał nagrodę Nobla w dziedzinie chemii (por. *Podstawy fizyki współczesnej*, s. 141—151).

Bohr⁵⁴ przedstawił model atomu wodoru, który wyjaśniał pewną stabilność atomu oraz występowanie nieciągłego widma. Model ten, ulepszonego przez Sommerfelda⁵⁵, znalazł tylko ograniczone zastosowanie. Wciąż brak było jednolitej teorii, która wyjaśniałaby zjawiska mikroświata⁵⁶.

2. Podstawy nowej fizyki kwantowej i mechaniki kwantowej, opartej na hipotezie L. de Broglie'a — tzw. mechaniki falowej, sformułował w 1926 r. E. Schrödinger. Równocześnie W. Heisenberg sformułował podstawy mechaniki kwantowej, zwanej mechaniką macierzową⁵⁷ a P. A. M. Dirac — wypracował niekomutatywną algebrę⁵⁸, którą stosował do opisu wielkości fizycznych. Okazało się, że wszystkie trzy formalizmy matematyczne, z aspektu fizycznego, są równoważne i noszą nazwę mechaniki kwantowej.

Po 1926 r. nastąpił rozwój i dopracowanie nowej mechaniki, tak że w latach 1930—1924 zostało nadane tej teorii końcowe sformułowanie. W tej teorii znalazły wyjaśnienia zagadnienia ze starszej teorii kwantów, także te, które nastęrczały trudności, ponadto nowa teoria tłumaczyła takie zagadnienia, jak:

- 1 — strukturę widm atomowych (także widm atomów wieloatomowych),
- 2 — istotę wiązań chemicznych,
- 3 — problemy z zakresu fizyki ciała stałego (zwłaszcza problemy z teorii metali, np: zjawiska ferromagnetyzmu),
- 4 — zagadnienia budowy jąder atomowych.

⁵⁴ Model atomu Nielsa Henrika Dawida Bohra (1885—1962) bywa nazywany dynamicznym modelem planetarnym, w którym ciężkie jądro jest zasadniczo w spoczynku, a wokół niego krążą elektrony po torach kołowych i eliptycznych.

N. Bohr urodził się w Kopenhadze i tam studiował na Uniwersytecie, uzyskując stopień doktora w 1911 r. Pracował w Laboratorium Cavendisha w Cambridge pod kierunkiem J. J. Thomsona, a na Uniwersytecie Victoria pracował z E. Rutherfordem. W 1920 r. został dyrektorem Instytutu Fizyki Teoretycznej w Kopenhadze. Nagrodę Nobla otrzymał w 1922 r. za badania struktury atomu i jego promieniowania. Był zwolennikiem zastosowań pokojowych energii jądrowej, dlatego był organizatorem pierwszej konferencji „Atomy dla pokoju” w Genewie w 1955 r. (por. *Podstawy fizyki współczesnej*, s. 153—177).

⁵⁵ Model atomu Arnolda Sommerfelda (1868—1951) jest uogólnieniem teorii Bohra, wprowadzającym jako dozwolone orbity obok kołowych, eliptyczne dla elektronów. Zastosował z niewielkimi modyfikacjami prawa Keplera do opisu ruchu elektronów.

A. Sommerfeld był niemieckim fizykiem teoretycznym, od 1897 r. profesorem matematyki w Akademii Górniczej w Clausthal, od 1900 r. — mechaniki na politechnice w Akwizgranie, od 1906 r. — 1938 r. — fizyki teoretycznej na Uniwersytecie w Monachium (por. O. Scholz, *Fizyka atomu w zarysie*, Warszawa 1973, s. 29—36; WP, t. 10, s. 667).

⁵⁶ Por. M. Heller, *Materia-geometria*, s. 277.

⁵⁷ Mechanika macierzowa jest to ujęcie mechaniki kwantowej, wypracowane przez W. Heisenberga (por. W. Heisenberg, *Fizyka a filozofia*, Warszawa 1965, s. 20; *Podstawy fizyki współczesnej*, s. 220).

⁵⁸ Algebra niekomutatywna — jest to formalizm matematyczny służący do opisu mechaniki kwantowej opracowany przez P. A. M. Diraca. (Por.: WEP, t. 7, s. 158; EF, t. 1, s. 368—369; *Podstawy fizyki współczesnej*, s. 212).

Do dalszego rozwoju mechaniki kwantowej przyczynili się — obok wspomnianych fizyków — następujący uczeni: Max Born⁵⁰, Pascual Jordan⁶⁰, Hendrik Anthony Kramers⁶¹ i Wolfgang Pauli⁶².

W układach mikrocząstek nie można dokładnie i równocześnie opisać położenia i pędu cząstki. Niemożność ta wynika z prawidłowości przyrody, sformułowanej przez W. Heisenberga jako zasady nieoznaczoności⁶³. Uzupełnieniem zasady nieoznaczoności jest sformułowana przez N. Bohra zasada komplementarności⁶⁴. Z tych zasad wynika konsekwentnie probabilistyczny opis procesów fizycznych i dlatego w teorii kwantowej można przewidzieć tylko prawdopodobieństwa otrzymania określonego wyniku, dotyczącego bądź to położenia, bądź to pędu cząstki.

3. Istota teorii Schrödingera zawiera się w tak zwanym równaniu Schrödingera. Ma ono postać:

$$-\left(\frac{h}{2m}\nabla^2+V\right)\Psi=ik\frac{d\Psi}{dt}$$

gdzie: $k = \frac{h}{2\pi}$

symbol ∇^2 — oznacza sumę drugich pochodnych cząstkowych,

⁵⁰ Max Born (1882—1970), fizyk niemiecki, pracował na uniwersytetach: w Berlinie od 1915 r., we Frankfurcie nad Menem od 1919 r., w Getyndze od 1921 r. W 1933 r. wyemigrował do Anglii i pracował jako profesor w latach 1936—1953 w Edynburgu a od 1953 r. przebywał w RFN. Badania naukowe prowadził z zakresu mechaniki kwantowej, teorii sieci krystalicznej, problematyki budowy atomu i elektromagnetycznej teorii światła. W 1954 r. otrzymał on nagrodę Nobla.

⁶⁰ Pascual Jordan — bogaty zestaw jego prac z zakresu fizyki Czytelnik może znaleźć w pracy: J. J. Knappik, *Dynamiczna ekspansja Kosmosu*, Londyn 1976, s. 7—8.

⁶¹ Hendrik Anthony Kramers (1894—1952), holenderski fizyk teoretyczny, od 1936 r. był profesorem uniwersytetu w Lejdzie. Prowadził on badania z zakresu mechaniki kwantowej, a w 1926 r. podał metodę przybliżonego rozwiązania równania Schrödingera (*Encyklopedia Powszechna*, t. 2, s. 594; dalej cyt. EP).

⁶² Wolfgang Pauli (1900—1958), szwajcarski uczony pochodzenia austriackiego, specjalista w dziedzinie fizyki teoretycznej, profesor w Związkowej Wyższej Szkole Technicznej w Zurychu. Badania naukowe prowadził z zakresu mechaniki kwantowej i kwantowej teorii pola, w 1925 r. sformułował jedną z najważniejszych zasad fizyki współczesnej, a mianowicie: Pauliego zasadę wykluczenia; w 1931 r. wysunął hipotezę istnienia neutrona oraz opracował teorię paramagnetyzmu metali. W 1945 r. otrzymał nagrodę Nobla. (EP, t. 3, s. 473; t. 1, s. 146, 147, 348, 372, 517, 833; t. 2, s. 674, 611, 667; t. 3, s. 262).

⁶³ Zasada nieoznaczoności: $\Delta p \Delta x \geq h$ oznacza, że nie możemy jednocześnie ściśle opisać położenia i pędu cząstki, ale iloczyn nieoznaczoności położenia i pędu nie może być mniejszy od h . Zasada ta odnosi się do wielkości kanonicznie sprzężonych (np. czasu i energii: $\Delta t \Delta E \geq h$) (Por. F. W. Van Name, *Fizyka współczesna*, Warszawa 1965, s. 175—177; K. I. Szczołkin, *Fizyka mikroświata*, Warszawa 1971, s. 77—84; Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna*, t. 5, Warszawa 1967², s. 246—254).

⁶⁴ Zasada komplementarności wysunięta przez N. Bohra wyjaśniła takie pojęcia odnośnie cząstek, jak: fala, korpuskuła, położenie, pęd — pojęcia te służą do opisu cząstek w sposób komplementarny (uzupełniający). Zasada ta została ogłoszona w 1928 r. (por. W. Heisenberg, *Fizyka a filozofia*, Warszawa 1965, s. 24—25, 239).

symbol ψ — oznacza potencjał rozważanego układu,

symbol Ψ — oznacza falową funkcję stanu.

Równanie to opisuje ruch cząstek mikroświata⁶⁵, zatem równanie to można uważać za równanie ruchu w mechanice kwantowej. Rozwiązanie równania Schrödingera dla elektronu atakującego barierę potencjału przewiduje oprócz „funkcji przechodzącej”, pewną wartość, różną od zera, dla funkcji falowej „odbitej”. Również dla najprostszego atomu (atom wodoru) po rozwiązaniu równania Schrödingera, otrzymuje się dyskretne wartości energii i funkcje falowe, odpowiadające tym dyskretnym poziomom energetycznym⁶⁶.

Probabilistyczna interpretacja funkcji falowej, podana przez M. Borną⁶⁷, pozostaje do dziś podstawową i jest przyjmowana przez większość fizyków.

Równanie Schrödingera zostało uogólnione w ramach teorii względności przez Kleina — Gordona (tzw. relatywistyczne równanie Schrödingera)⁶⁸ i przy pomocy niego można opisać ruch cząstki ze spinem równym zero (np.: mezonów Π^0).

Natomiast równanie Diraca⁶⁹ jest relatywistycznym równaniem ruchu cząstek ze spinem $1/2$, które uwzględnia naturalny spin cząstki i opisuje wszystkie z nim związane efekty. Równanie to dopuszcza możliwość pojawienia się stanów energii ujemnej i było pierwszą próbą zrozumienia mechanizmów procesu tak zwanej kreacji i anihilacji cząstek — był to pomost między mechaniką kwantową a kwantową teorią pól⁷⁰.

⁶⁵ Por. M. Heller, *Materia-geometria*, s. 278; *Podstawy fizyki współczesnej*, s. 184—188; 189—211.

⁶⁶ Por. M. Heller, *Materia-geometria*, s. 280—281.

⁶⁷ Por. M. Heller, *Materia-geometria*, s. 284; M. Borna *probabilistyczna interpretacja* (por.: EF, t. 2, s. 873—876).

⁶⁸ Równanie Kleina-Gordona jest relatywistycznym równaniem kwantowym (zob. EF, t. 2, 22—23) drugiego rzędu zarówno względem współrzędnych przestrzennych i czasu, a energia i pęd cząstek swobodnych spełniają warunek relatywistyczny: $E^2=c^2(p^2+m^2c^2)$ — nie opisuje ono cząstek ze spinem (por.: EF, t. 1, s. 369).

⁶⁹ Równanie Diraca — opisuje cząstki o spinie $1/2$ zgodnie z prawami mechaniki kwantowej i teorii względności, składa się ono z czterech sprzężonych równań różniczkowych pierwszego rzędu zawierających pochodne cząstkowe względem współrzędnych przestrzennych i czasu — funkcja falowa spełniająca to równanie jest układem czterech funkcji zespolonych (por. EF, t. 1, s. 369—372).

Paul Adrian Maurice Dirac (ur. 1902), angielski fizyk teoretyk, był profesorem od 1932 r. w Uniwersytecie w Cambridge, a od 1953 r. — w Oxford, członek Royal Society. Badania naukowe prowadził w zakresie mechaniki kwantowej i elektrodynamiki kwantowej, w 1928 r. sformułował prawa mechaniki statystycznej dla elektronów oraz przewidział teoretycznie istnienie pozytonu. Nagrodę Nobla otrzymał w 1933 r. wraz z Erwinem Schrödingerem.

⁷⁰ A. Hrynkiwicz, *Mechanika kwantowa*, WEP, t. 7, Warszawa 1966, s. 159; por. EF, t. 1, s. 228—230; t. 2, s. 300—312; por. L. D. Landau, E. M. Lifszyc, *Teoria pola*, Warszawa 1980².

Zagadnienie klasyfikacji ujęć ruchu we współczesnej fizyce jest problemem złożonym i wielowarstwowym. Zajmiemy się tutaj określeniami ruchu, jakie występują w fizyce lub inaczej mówiąc, w naukach fizycznych. Ze wstępnego rozpoznania zagadnienia można stwierdzić, że problem ruchu w fizyce, jego opis, prawa — jest czymś podstawowym.

Interesującą próbę klasyfikacji ruchów podają A. M. Jaworski i A. A. Piński⁷¹. Całość zagadnienia można podzielić na trzy zakresy, a mianowicie:

- 1 — zakres newtonowski, charakteryzuje się tak małymi prędkościami ciał, że aparatura pomiarowa nie pozwala zaobserwować efektów relatywistycznych, takich jak: skrócenie czasu, skrócenie długości, powiększenie wartości masy, itp. — w tym zakresie uzasadnione jest korzystanie z praw mechaniki newtonowskiej;
- 2 — zakres relatywistyczny, cechuje duża prędkość ciał, taka że efekty relatywistyczne są mierzalne — i w tym zakresie prawidłowe wyniki uzyskuje się w ramach teorii względności;
- 3 — zakres ultrarelatywistyczny, opisuje ciało o prędkościach prawie równych prędkości światła w próżni (różnica między prędkością światła a prędkością ciała jest wielkością mierzalną) — w tym zakresie jest konieczne zastosowanie praw teorii względności.

1. Opis ruchu w fizyce rozpoczynamy od charakterystyki ruchu mechanicznego⁷², który może być różnego rodzaju i może być bardzo złożony. Dlatego mechanika rozkłada ruchy rzeczywiste na prostsze, a po ich zbadaniu przechodzi się do opisu ruchów bardziej złożonych.

Elementarnym ruchem mechanicznym jest ruch tak zwanego punktu materialnego. Przez punkt materialny rozumiemy w mechanice ciało, którego rozmiary i kształt w danym zagadnieniu pomijamy, czyli rozpatrujemy ciało jako punkt materialny, czyli jako obiekt o rozmiarach nieskończenie małych. Z określenia ruchu mechanicznego, który jest zmianą położenia, wynika, że zmiana położenia może zachodzić tylko w stosunku do innych ciał, które tworzą układ odniesienia. Natomiast w celu opisanie ruchu wiążemy z układem odniesienia ciał dowolny układ współrzędnych — np.: prostoliniowy układ prostokątny.

2. Analogicznie do ruchu mechanicznego elementarnego, opisuje się ruch bryły sztywnej⁷³, jako ruch jednego punktu materialnego o masie

⁷¹ *Elementy fizyki*, t. 1, Warszawa 1976 s. 124.

⁷² Por. S. Frisz, A. Timoriewa, *Kurs fizyki*, t. 1, Warszawa 1964, s. 20—21; por.: J. Kociński, *Wstęp do fizyki współczesnej*, t. 1, Warszawa 1977, s. 11—122.

⁷³ Por. S. Frisz, A. Timoriewa, *Kurs fizyki*, t. 1, s. 43, 126, 127, 144, B. M. Jaworski, A. A. Piński, *Elementy fizyki*, t. 1, s. 169—183.

równej masie bryły, na którą działa siła równa głównemu wektorowi sił zewnętrznych. Natomiast całkowita energia kinetyczna bryły sztywnej równa się sumie energii kinetycznej masy całej bryły. Bryła taka porusza się ruchem środka masy i ma, oprócz energii kinetycznej ruchu postępowego, energię kinetyczną ruchu obrotowego wokół osi przechodzącej przez środek masy, jeśli taki ruch posiada środek masy lub środek bezwładności pokrywa się ze środkiem sił ciężkości. Ruch obrotowy bryły sztywnej określamy jako ruch, w którym wszystkie punkty tej bryły opisują okręgi wokół jednej prostej zwanej osią obrotu. Jeżeli chodzi o ruch postępowy bryły sztywnej, to w ruchu tym wszystkie punkty bryły sztywnej mają jednakowe prędkości (V) i jednakowe przyspieszenia (a).

3. Należy również rozpatrzeć ruch układu ciał.⁷⁴ Tutaj bierzemy pod uwagę środek masy układu odosobnionego, który wykonuje ruch bezwładny, to znaczy porusza się jednostajnie i prostoliniowo. Ruch środka masy układu nie zależy od ruchu poszczególnych ciał wchodzących w skład tego układu. Poza tym prędkość środka masy układu nie ulega zmianie pod wpływem sił wewnętrznych. A oto wzór opisujący ten ruch:

$$V_{sr} = \frac{P}{M}$$

gdzie: P — całkowity pęd

M — całkowita masa układu.

4. Przy ruchu cieczy wyróżniamy: ruch postępowy cieczy, ruch wirowy⁷⁵ i ruch ciała w cieczy. Przyjmujemy „ciecz doskonałą”, która jest całkowicie nieściśła i pozbawiona lepkości. Cała ciecz jest opisana polem wektora prędkości, w którym to polu możemy przeprowadzić linie, natomiast styczne do nich w każdym punkcie pokrywają się (co do kierunku) z wektorem prędkości cząsteczki cieczy w tym punkcie — linie te nazywamy liniami pędu. Jednakże przy opływaniu ciał przez ciecz, ruch laminarny jest zakłócony wraz ze wzrostem prędkości i przechodzi w ruch wirowy. Płynący strumień cieczy odrywa się od opływającego ciała, dzieli się na poszczególne wiry, które pozostają z tylnej strony ciała i zostają uniesione przez strumień, stopniowo zanikając.

Ciała, będące w ruchu w cieczy lub gazie⁷⁶, doznają oporu od strony tego ośrodka, który zależy od rozmiarów i kształtu ciała, od jego prędkości oraz od własności cieczy lub gazu. Jeżeli weźmiemy na przykład ciało spadające w ciecz lub gaz, to działają na niego trzy siły:

siła ciężkości P ,

⁷⁴ B. M. Jaworski, A. A. Piński, *Elementy fizyki*, t. 1, s. 139—141; por. J. Kociński, *Wstęp do fizyki współczesnej*, t. 1, s. 123—124.

⁷⁵ S. Frisz, A. Timoriewa, *Kurs fizyki*, t. 1, s. 147—164; R. Resnick, D. Halliday, *Fizyka*, t. 1, Warszawa 1974, s. 511—558.

⁷⁶ B. M. Jaworski, A. A. Piński, *Elementy fizyki*, t. 1, s. 101, 104.

siła wyporu F_{wyp}

siła oporu F_{op} ,

Wówczas podstawowe prawo dynamiki jest sformułowane w sposób następujący:

$$m \cdot a = P - F_{wyp} - F_{op}$$

gdzie: przyspieszenie a dąży do zera, ciało osiąga prędkość graniczną i dalej porusza się ruchem jednostajnym.

5. Ruch cząsteczek gazu⁷⁷ nazywany ruchem wewnętrznym cząsteczek, z który składa się dana substancja, jest bezładny, nigdy nie ustaje, a jego średnia prędkość zależy tylko od temperatury; ruchem analogicznym do ruchu cząsteczek gazu, a dającym się bezpośrednio obserwować są tzw. ruchy Browna.

W gazie wyróżnia się ruch stacjonarny lub ustalony, który zachodzi przy określonych, niezależnych od czasu parametrach termicznych gazu dla dowolnego przekroju naczynia oraz ruch niestacjonarny — gdy parametry termiczne gazu zmieniają się w czasie.

6. Każda deformacja sprężysta lub plastyczna kryształu jest związana z przemieszczeniem atomów sieci kryształu. Jednym ze zjawisk jest tu tak zwany „ruch dyslokacji”⁷⁸. Dyslokacja w kryształach oznacza defekty w sieci krystalicznej, powstałe wskutek przesunięcia płaszczyzn sieciowych, które to przesunięcia mogą powstawać podczas wzrostu lub deformacji kryształu. Ruchowi dyslokacji towarzyszy dyfuzja, która powoduje dopływ do dyslokacji atomów niezbędnych do wypełnienia pustki, jednocześnie rozprasza atomy nadmiarowe ten rodzaj ruchu dyslokacji nazywa się wspinaniem. Proces dyfuzji w kryształach srowadza się do ruchów defektów w sieci krystalicznej. Można stwierdzić, że jeżeli jest więcej defektów w sieci krystalicznej, to jest większe prawdopodobieństwo zajścia zjawiska dyfuzji. Zjawisko to zachodzi częściej (w tych samych warunkach) w polikryształach niż w monokryształach.

7. Szczególne znaczenie w dzisiejszej technice kosmicznej posiada ruch odrzutowy⁷⁹, związany z budową raket i ruchem raket. Ruch odrzutowy charakteryzuje się tym, że siła napędu raketowego jest proporcjonalna do szybkości spalania paliwa i prędkości wypływu gazów, jest

⁷⁷ S. Frisz, A. Timoriewa, *Kurs fizyki*, t. 1, s. 169—171; por. B. M. Jaworski, A. A. Piński, *Elementy fizyki*, t. 1, s. 221—225, 291; R. Resnick, D. Halliday, *Fizyka*, t. 1, s. 683—735; U. J. Frankfurt, A. M. Frenk, *Fizyka naszych dni*, Warszawa 1974, s. 260—266.

⁷⁸ Por. A. Kelly, G. W. Groves, *Krytalografia i defekty kryształów*, Warszawa 1980, 201—203; B. M. Jaworski, A. A. Piński, *Elementy fizyki*, t. 1, s. 327; t. 2, Warszawa 1976, s. 451—458; L. Pauling, P. Pauling, *Chemia*, Warszawa 1983, s. 34—40; T. Figielski, *Elektrony i defekty w półprzewodnikach*, Wrocław 1981, s. 30—49; *Wstęp do piezoelektroniki*, Warszawa 1980; *Zagadnienia fizyki kryształów*, Warszawa 1979; A. S. Sonin, *O krytalografii*, Warszawa 1982.

skierowana przeciwnie do kierunku wypływu gazów spalinowych. Równanie można zapisać w sposób następujący:

$$F = -\mu \cdot u$$

gdzie: μ — oznacza masę spalanych gazów w jednostce czasu,

8. W tym miejscu opiszemy rodzaje ruchów, których charakterystyka związana z geometrią. Do nich zaliczamy następujące ruchy:

1 — ruch prostoliniowy jednostajny⁸⁰ zachodzi wtedy, gdy dokonuje się wzdłuż prostej i poruszające się ciało w dowolnie obranych i równych odstępach czasu przebywa jednakowe odcinki drogi, czyli prędkość jego będzie wyrażona równaniem:

$$v = \frac{s}{t}$$

gdzie: v — oznacza prędkość,

s — oznacza drogę,

t — oznacza czas.

2 — ruch jednostajnie zmienny⁸¹ zachodzi wtedy, gdy prędkość (v) w ciągu równych dowolnie obranych okresów czasu (t) zmienia się o jednakową wielkość v ; jeżeli v jest dodatnie — to jest to ruch jednostajnie przyspieszony, a jeżeli v jest ujemne — jest to ruch jednostajnie opóźniony. Natomiast przyspieszenie (a) ruchu jednostajnie zmiennego jest wprost proporcjonalne do przyrostu prędkości i odwrotnie proporcjonalne do odstepu czasu, w którym ten przyrost zachodzi. Można wyrazić to za pomocą równania:

$$a = \frac{v}{t}$$

gdzie: a — oznacza przyspieszenie,

v — oznacza prędkość,

t — oznacza czas.

3. — ruch jednostajny punktu materialnego po okręgu⁸² ma przyspieszenie skierowane prostopadle do wektora prędkości (wzdłuż promienia do środka okręgu) i nosi nazwę normalnego lub dośrodkowego, zaś prędkość kątową wyraża się następującym równaniem:

⁷⁹ Por. B. M. Jaworski, A. A. Piński, *Elementy fizyki*, t. 1, s. 137—138; S. Frisz, A. Timoriewa, *Kurs fizyki*, t. 1, s. 155; W. Bolton, *Zarys fizyki*, s. 81—84.

⁸⁰ Por. S. Frisz, A. Timoriewa, *Kurs fizyki*, t. 1, s. 21—24; B. M. Jaworski, A. A. Piński, *Elementy fizyki*, t. 1, s. 19.

⁸¹ Por. S. Frisz, A. Timoriewa, *Kurs fizyki*, t. 1, s. 26—28; B. M. Jaworski, A. A. Piński, *Elementy fizyki*, t. 1, s. 20—21, 40.

⁸² Por. B. M. Jaworski, A. A. Piński, *Elementy fizyki*, t. 1, s. 43, 45; R. Resnick, D. Halliday, *Fizyka*, t. 1, Warszawa 1974, s. 301—304.

$$\omega = \frac{d\Theta}{dt}$$

natomiast przyspieszenie kątowe α wyraża się następującym równaniem:

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

gdzie: ω — oznacza prędkość kątową,

Θ — oznacza kąt mierzony w radianach; $\Theta = \frac{s}{r}$

(s — łuk, r — promień),

t — oznacza czas.

4 — ruch prostoliniowy niejednostajny⁸³ charakteryzuje się tym, że ciało w jednakowych odstępach czasu przebywa nierówne drogi, natomiast prędkość ruchu zmiennego w danym punkcie drogi lub w danej chwili jest wielkością graniczną, do której dąży prędkość średnia:

$$\bar{v} = \frac{s - s_0}{t - t_0}$$

wówczas, gdy zarówno odstęp czasu Δt , jak i przebyte odstęp drogi Δs , dążą do zera, co wyraża się równaniem:

$$\bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

5 — jednym z przykładów ruchu krzywoliniowego⁸⁴ jest ruch ciała ciężkiego wyrzuconego pod kątem do poziomu. Na ogół ruch krzywoliniowy charakteryzuje się tym, że wektor prędkości (\vec{v}) w tym ruchu jest w każdej chwili skierowany wzdłuż stycznej do toru ciała przeprowadzonej w kierunku jego ruchu i ciągle się zmienia. Można to zapisać następującym równaniem:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$$

gdzie $\Delta \vec{s}$ jest wektorem, do którego dąży odcinek drogi przebytej w nieskończenie małym przedziale czasu Δt .

9. Ruchu harmonicznego⁸⁵, to ruch powtarzający się w regularnych odstępach czasu, nazywany ruchem okresowym (periodycznym), ruchem

⁸³ Por. S. Frisz, A. Timoriewa, *Kurs fizyki*, t. 1, s. 24—26; B. M. Jaworski, A. A. Piński, *Elementy fizyki*, t. 1, s. 18.

⁸⁴ S. Frisz, A. Timoriewa, *Kurs fizyki*, t. 1, s. 34—36; W. Bolton, *Zarys fizyki*, 48—49.

⁸⁵ Por. R. Resnick, D. Halliday, *Fizyka*, t. 1, s. 414—456; B. M. Jaworski, A. A. Piński, *Elementy fizyki*, t. 2, s. 151—187; W. Bolton, *Zarys fizyki*, s. 165—201; S. Frisz, A. Timoriewa, *Kurs fizyki*, t. 1, s. 401—439; EF, t. 1, s. 381—395; R. G. Gieworkian, W. W. Szepiel, *Fizyka*, Warszawa 1982³, s. 78—99.

drgającym (wibracyjnym albo oscylacyjnym). Z ruchem tym związane są, między innymi, następujące zagadnienia: składanie drgań o jednakowej częstotliwości, o zbliżonej częstotliwości i o częstotliwościach wielokrotnych oraz problemy drgań własnych (swobodnych), drgań wymuszonych, tłumienie drgań i rezonans. Przykładami tego ruchu są: ruch wahadła zegara, drganie strun skrzypiec, ruch ciężarka na końcu sprężyny, ruch atomów w cząsteczkach, ruch atomów w sieci krystalicznej, ruch cząsteczek powietrza w czasie rozchodzenia się fali głosowej.

10. Zjawisko ruchu falowego⁸⁶ występuje prawie w każdej dziedzinie fizyki. Obserwujemy go w falach na powierzchni wody, w falach dźwiękowych, w falach świetlnych, w falach radiowych i w innych falach elektromagnetycznych. Jedną z teorii w fizyce cząstek elementarnych nosi nazwę mechaniki falowej.

Wyróżnione tutaj rodzaje ruchu, jakie spotykamy we współczesnej fizyce, na pewno nie wyczerpują całego bogactwa ruchów w przyrodzie i opisanych w fizyce, jednak w wystarczający sposób charakteryzują dany przedmiot badany w tej nauce.

IV. ZAKOŃCZENIE

Zagadnienie ruchu w przedstawionych teoriach fizyki oraz jego rozwiązanie prowadzą do wniosku, że ruch jest ściśle związany z przedmiotami badanymi w fizyce. Problem stosunku ruchu do materii, rozpatrywany w płaszczyźnie poznania empiriologicznego, może być podjęty w ramach każdej z wymienionych teorii fizyki. Próby rozwiązań tego problemu są zróżnicowane w zależności od założeń tych teorii. Uważam, że współczesne ujęcie stosunku ruchu do materii może być, w sposób bardziej analityczny, ukazane w oparciu o dane z zakresu fizyki cząstek elementarnych. Wymaga to oddzielnego opracowania tego problemu z racji na podstawowe znaczenie danych z fizyki cząstek elementarnych w próbie rozwiązania zagadnienia stosunku ruchu do materii.

DALLA FENOMOLOGIA EMPIRICA DEL MOTO

Somario

Il problema del moto viene considerato sui seguenti piani di nozione: il moto come mutamento, come passaggio dalla possibilità all'azione fa l'oggetto delle ricerche metafisiche; il moto nel senso stretto, come il moto quantitativo, qualitativo e locale, che si realizza successivamente nel tempo, fa l'oggetto delle ricerche

⁸⁶ Por. R. Resnick, D. Halliday, *Fizyka*, t. 1, s. 559—622; S. Frisz, A. Timoriewa, *Kurs fizyki*, t. 1, s. 440—485; B. M. Jaworski, A. A. Piński, *Elementy fizyki*, t. 2, s. 200—328; W. Bolton, *Zarys fizyki*, s. 231—318; EF, t. 1, s. 527—557; R. G. Gieworkian, W. W. Szepiel, *Fizyka*, s. 100—128.

filosofiche sulle scienze naturali; il fenomeno del moto, invece, fa l'oggetto delle ricerche scientifiche sul piano della conoscenza empiriologica, propria alle particolari scienze naturali.

L'articolo vuole mostrare l'importanza della problematica del moto nelle teorie della fisica di Aristotele, di Newton, di Einstein e della fisica quantica come pure ha intenzione di dare una prova di classifica della sistemazione del moto nella fisica contemporanea. La fenomenologia empirica può costituire il punto di partenza (nel senso metodologico) per le analisi filosofiche nel campo della filosofia sulle scienze naturali.