
Instytut Fizyki Wydziału Matematyki, Fizyki, Chemii UMCS

Mieczysław SUBOTOWICZ

Czas (kilka uwag fizyka)

Время. (Несколько замечаний физика)

Time (Some Remarks of a Physicist)

Horas non numero, nisi serenas — słowa te, wykute w kamieniu na starym rzymskim zegarze, pragnę zadedykować Panu Profesorowi Narcyzowi Łubnickiemu, życząc Mu, aby zegar Jego życia liczył tylko godziny szczęśliwe.

Piszę o czasie, pojęciu, które ma długą historię w filozofii, a do którego sensu fizyka wniosła tyle nowych treści. Będąc fizykiem, miałem sposobność i potrzebę z racji mego zawodu wielokrotnie stykać się z problematyką filozoficzną, zawsze ciekawą i fascynującą. Filozofię interesowałem się w latach gimnazjalnych, później jako student zetknąłem się z nią na wykładach Profesora, na posiedzeniach Towarzystwa Filozoficznego, wreszcie — w tyłu spotkaniach z różnymi filozofami, czytając ich dzieła. To, że spotkania z filozofią były dla mnie zawsze ciekawą przygodą intelektualną, zawdzięczam w istotnej mierze Profesorowi Narcyzowi Łubnickiemu.

Dalsze uwagi o czasie filozofującego fizyka, skłonnego od badania Przyrody z filozoficznej pozycji fizykalnego monizmu, zechce Pan Profesor przyjąć jako wyraz niezmiennego szacunku i wdzięczności.

WSTĘP

Niewiele jest pojęć w nauce i życiu codziennym, których znaczenie, a zarazem wieloznaczność mogłaby być porównywalna z pojęciem czasu. Czas jest kategorią filozoficzną i psychologiczną, jest wielkością fizyczną oraz istotnym parametrem w biologii. Mówi o nim socjolog i ekonomista, mistyk i racjonalista, człowiek ubogi i bogaty, polityk i pustelnik, słowem — każdy ma swój własny pogląd na problem czasu. Czy możliwe jest znalezienie elementów wspólnych w tych poglądach?

Jak się wydaje, wiele trudności w rozumieniu koncepcji czasu i stosunku czasowego oraz wiele sporów może wywołać badanie ich sensu na gruncie semantyki i logiki, ogólniej — języka naukowego, prócz fizyki, a tym bardziej — języka potocznego. Mniej natomiast trudności w analizie pojęcia czasu, relacji czasowej lub trwania (dziania się) widzimy, kiedy pozostajemy na gruncie fizyki.

NIEKTÓRE SPOSOBY POJMOWANIA CZASU I PRZESTRZENI

Czas wraz z pojęciami przestrzeni, materii, ruchu i oddziaływania należy do podstawowych kategorii współczesnego przyrodoznawstwa i filozofii. Wymienimy kilka podstawowych, filozoficznych i fizycznych koncepcji czasu: substancjalną, relatywną, statyczną i dynamiczną. W ramach tych koncepcji mieszczą się poglądy Demokryta, Giordana Bruna, Galileusza, Spinozy, Locke'a,

Newtona i ich następców, którzy traktowali przestrzeń jako rozciągłość, zaś czas jako trwanie (dzianie się), albo poglądy Arystotelesa, Leibniza, Hyughensa oraz następców, według których przestrzeń jest uporządkowanym współistnieniem rzeczy i procesów, czas natomiast określa początek dziania się, następowania zjawisk i zdarzeń. Ten drugi pogląd, bliższy współczesnej fizyce, traktuje przestrzeń jako formę uporządkowania różnych współistniejących przedmiotów, procesów i zdarzeń, pozostających w określonych stosunkach ilościowych jednych względem drugich. Czas natomiast jest ogólną formą uporządkowania, zmieniających się kolejno jeden w drugi stanów przedmiotów, znajdujących się w określonych stosunkach ilościowych.

SUBSTANCJALNA KONCEPCJA CZASU

W tej koncepcji czas jest traktowany jako substancja o specyficznych właściwościach, istniejąca niezależnie od materii, przestrzeni i procesów zachodzących między przedmiotami, ale określająca istnienie tych przedmiotów i przebieg tych procesów, ich odrębność, trwanie i kolejność. Do koncepcji substancjalnej należy czas absolutny Newtona. Zależności czasowe są pierwotne, powszechne, niezmiennie oraz jednakowe dla wszystkich układów odniesienia. Według tej koncepcji, istnieje we Wszechświecie absolutna jednoczesność, a więc możliwość czasowego uporządkowania wszystkich zdarzeń. Koncepcja ta przetrwała w fizyce przez ponad dwa stulecia, między innymi z tego powodu, że znajdowała potwierdzenie w codziennym doświadczeniu, chociaż odkrycie przez Römera skończonej prędkości rozchodzenia się światła mogło już ją podważyć. Gruntownej rewizji pojęcia czasu w fizyce dokonał dopiero Einstein.

RELATYWNA KONCEPCJA CZASU

Wyrasta ona z Einsteinowskiej analizy przestrzeni, czasu i fizycznego świata. Czas jako własność materii, dzięki niej lub z nią, podobnie jak przestrzeń współistniejący, jest zbiorem stosunków między ciałami i zdarzeniami fizycznymi. Istnienie zależności czasowych uwarunkowane jest wzajemnym oddziaływaniem procesów i układów materialnych.

Oddziaływania materialne i sygnały mogą być przekazywane ze skończoną prędkością. Jest to prędkość światła, która w próżni ma największą wartość, $c = 3 \cdot 10^{10}$ cm/s. Dlatego ciała lub zdarzenia mogą być powiązane ze sobą relacją czasową tylko wtedy, kiedy sygnały lub oddziaływania spełniają warunek skończonej prędkości ich przekazywania. W innych przypadkach relacje te nie mają sensu fizycznego.

W ramach omawianej koncepcji relatywnej czasu jednoczesność staje się z jednej strony zależna od układu odniesienia, z drugiej zaś z jej sensu wynika, że między dostatecznie odległymi od siebie zdarzeniami nie może zachodzić oddziaływanie, a między tymi zdarzeniami nie ma relacji przyczynowej. Oznacza to, że zależności czasowe mogą istnieć między zdarzeniami lub przedmiotami, gdy mogą one na siebie oddziaływać, ponieważ oddziaływania mają skończoną prędkość rozchodzenia. Problem ten nie istnieje w substancjalnej koncepcji czasu.

STATYCZNA KONCEPCJA CZASU

W statycznej koncepcji czasu przyjmuje się, że nie ma różnicy w sensie rzeczywistego istnienia między zdarzeniami przeszłymi, teraźniejszymi i przy-

szlymi. Zdarzenia i ciała materialne nie rodzą się i nie giną. Spotkanie świadomości z nowym zdarzeniem przedstawia iluzję dziania się (trwania), odejście świadomości od miejsca spotkania ze zdarzeniem w czasoprzestrzeni traktujemy jako „zniknięcie”. Zwolennikami tej raczej psychologicznej koncepcji czasu byli spośród filozofów starożytnych: Parmenides, Zenon z Elei oraz Platon, dla którego czas był poruszającym się obrazem wieczności, a wieczność — bytem pozaczasowym.

Koncepcja statyczna czasu zbliża się do koncepcji relatywnej w określeniu stosunku czasowego „wcześniejszy — późniejszy”, co ma tu realny, fizyczny sens, a także w ogólnej teorii względności (czasoprzestrzeń, linie świata). Anizotropia tego stosunku czasowego charakteryzuje w tym modelu nieodwracalność upływu czasu. Koncepcja ta nie objaśnia zadowalająco problemu zmian i trwania. Do zwolenników tej koncepcji czasu należał też B. Russell, jeden z twórców logicznej teorii czasu.

DYNAMICZNA KONCEPCJA CZASU

Według tej koncepcji, byt realny mają tylko zdarzenia teraźniejsze, przyszłe bowiem jeszcze nie istnieją, przeszłe zaś — już nie istnieją. Zdarzenia i przedmioty poruszają się w czasie od przeszłości przez teraźniejszość ku przyszłości. Ręcznikiem takiej koncepcji czasu był Heraklit. Wprowadzenie przez Newtona czasu absolutnego ugruntowało dynamiczną koncepcję czasu jako jedyną możliwą do przyjęcia z naukowego (ówcześnie) punktu widzenia. Znane trudności z ustaleniem określonej chwili „teraz” dla całego Wszechświata stanowią treść paradoksu MacTaggarta wraz z jego stwierdzeniem, że dynamiczna koncepcja czasu jest wewnętrznie sprzeczna. Tymczasem u Newtona na przykład trwanie jest wewnętrzną cechą każdego zdarzenia.

CZASOPRZESTRZEŃ FIZYCZNA

Dla wielu potrzeb fizyka wystarczającą charakterystyką czasu będzie zaszerogowanie go do rzędu wielkości fizycznych i ustalenie sposobów jego mierzenia oraz ustalenie jednostki czasu. Za jednostkę czasu przyjmujemy proces *periodyczny*, łatwo reprodukowalny, na przykład okres obiegu Ziemi dookoła Słońca, okres drgań elektronu w atomie, okres połowicznego zaniku substancji promieniotwórczej, rytm ludzkiego serca.

Oczywiście, takie formalne potraktowanie czasu w fizyce nie wyczerpuje pełnego bogactwa tego pojęcia. Klasyczna definicja czasu wymagała, aby był on *niezmienny*, jednakowy dla każdego obserwatora, absolutny, niezależny więc od tego obserwatora; to znaczy, aby rytm upływu czasu był ten sam zawsze i wszędzie, w całym Wszechświecie. Tej koncepcji nie dało się utrzymać.

Z analizy pojęcia czasu, dokonanej przez Einsteina, wynikało, że rytm upływu czasu zależy od stanu ruchu obserwatorów, dokładniej zaś — od ich względnego ruchu, od względnej prędkości i od wielkości pola grawitacyjnego, w którym dany obserwator się znajduje. Czas więc nie jest absolutny, a przy ocenie rytmu jego upływu należy podać układ odniesienia, w którym czas jest mierzony. Traci tu swój absolutny charakter pojęcie równoczesności zdarzeń. Dochodzimy do wniosku, że istnieją tylko czasy własne poszczególnych obiektów fizycznych. Każdy atom, cząsteczka, komórka i człowiek posiada własny czas, mierzony własnym zegarem. Nie ma w przyrodzie czasu

uniwersalnego, niezależnego od istniejącego świata. Porównanie własnych zegarów różnych obserwatorów pozwala stwierdzić u nich różny rytm upływu czasu. W zwykłych warunkach jednak te różnice są niedostrzegalnie małe. Stają się one dostrzegalne, gdy prędkości względne obserwatorów zbliżają się do prędkości światła, lub gdy różnice potencjałów grawitacyjnych między miejscami, w których się znajdują, są bardzo duże. Te wnioski znalazły potwierdzenie doświadczalne w eksperymentach wykonanych na Ziemi. Tak samo prawdziwy jest paradoks bliźniąt. W teorii względności czas jest organicznie sprzężony z przestrzenią w czasoprzestrzeni, w której zachodzą wszelkie zdarzenia i zjawiska fizyczne. Rozmieszczenie i ruch materii określa geometrię czasoprzestrzeni, zmienia jej strukturę i kształt. Czasoprzestrzeń jest jedyną realną formą bytu, istnienia materii, jest jego niezbędnym warunkiem. Czasoprzestrzeń jest więc określoną formą rzeczywistości, gdyż istnieje obiektywnie. Jej własności można doświadczalnie mierzyć, można jej przyporządkować tensor energii-pędu itd. Wydaje się, że takie ujęcie przestrzeni przedstawia pewną syntezę zarówno Newtonowskiego (uznającego substancjonalność czasu i przestrzeni), jak i Leibnizowskiego ujęcia, gdzie przestrzeń nie jest ani substancją, ani istotą. Jest porządkiem, podobnie jak czas. Przestrzeń jest uporządkowaniem tego, co współistnieje, zaś czas jest porządkiem istnień przedmiotów, które nie są jednoczesne. Czas warunkuje wielorakie powiązania między zdarzeniami; trwanie może dotyczyć tylko pojedynczego zdarzenia, wyrwanego z łańcucha zdarzeń.

W ogólnej teorii względności, własności przestrzeni i czasu wyprowadzone są z tensora metrycznego, będącego rozwiązaniem układu równań różniczkowych, zależnych od wielkości typu przestrzennego i czasowego.

RELACJA PRZYCZYNOWA A CZAS

Naszkicujemy teraz krótko rolę czasu w niektórych zasadach i relacjach logicznych lub ontologicznych, rozpoczynając od związku przyczynowego. Związek taki implikuje istnienie oddziaływań między przedmiotami. Problem oddziaływań (i pojęcie samego „oddziaływania”) jest podstawowy dla relacji przyczynowej. Dla fizyki najważniejszym w istocie problemem jest badanie oddziaływań, zachodzących w przyrodzie (ożywionej i nieożywionej).

Przyczynowość wyraża mechanizm, który wywołuje i prowadzi do zmian oddziaływających na siebie przedmiotów, których charakterystyki przestrzenno-czasowe są wzajemnie powiązane. Związek przyczynowy bowiem, jak każdy związek materialny, istnieje w przestrzeni i w czasie oraz posiada strukturę przestrzenno-czasową. Związek ten wyraża pewną konieczność i pewną kolejność czasową.

STRZAŁKA CZASU (NIEODWRACALNOŚĆ CZASU)

Już mówiąc o relacji przyczynowej zwracaliśmy uwagę na fakt, że wyraża ona pewien związek ukierunkowanego oddziaływania. Nieodwracalność tych oddziaływań w procesie ich realizacji musi być (i jest w rzeczywistości) istotną przyczyną nieodwracalności wszystkich procesów materialnych. Wśród nich wymienimy kierunkowość upływu czasu, albo — istnienie strzałki czasu.

Nikt z nas, korzystając ze swego życiowego doświadczenia, nie wątpi w to, że czas płynie w jednym kierunku, że istnieje wyraźna asymetria między przeszłością a przyszłością. Tymczasem niemal wszystkie prawa fizyki są zupełnie

symetryczne wobec transformacji odwrócenia czasu (inwersji czasu). Nie zawsze zdawano sobie sprawę przy formułowaniu tych praw, że tak jest w istocie. Dotyczy to zarówno ruchu planet, jak i elektronów w atomach czy nukleonów w jądrach atomowych — niemal wszystkich mikroprocesów. Co prawda, odkryto niedawno, że rozpad mezonu K_2^0 na dwa mezony π przeczy odwracalności w czasie praw fizyki. Jak się zdaje, istnieją więc w fizyce mikroprocesy i rządzące nimi prawa nieodwracalne w czasie (naruszenie niezmienniczości CP).

Trzeba zwrócić w tym kontekście uwagę na jeszcze jedno prawo fizyki dotyczące układów makroskopowych. Chodzi o drugą zasadę termodynamiki i związaną z nią funkcję, entropię, będącą w interpretacji statystycznej miarą uporządkowania układu. Entropia w układach izolowanych, w procesach samorzutnych stale wzrasta, w każdym razie — nie maleje. Mierzac entropię układu nie poddanego oddziaływaniom zewnętrznym w dwóch chwilach, tę uważamy za wcześniejszą, której odpowiada mniejsza entropia. W zjawiskach o charakterze statystycznym występuje kierunek czasu; tymczasem prawa określające oddziaływania bezpośrednie, występujące w układzie, są na ogół odwracalne w czasie.

Można wykazać, że w układach statystycznych istotną rolę odgrywają oddziaływania zewnętrzne. W układzie izolowanym na bardzo długi okres czasu nie moglibyśmy odróżnić kierunku czasu na podstawie analizy zdjęć tego układu zrobionych szybko po sobie. Natomiast w układach nieizolowanych łatwo wyróżnić strzałkę czasu. Strzałkę tę zachowują one przez pewien czas po izolacji, później „zapominają” o kierunku czasu. Ten właśnie fakt powoduje wystąpienie strzałki czasu w definicjach fizyki statystycznej i w termodynamice, co oznacza, że „entropia układu odosobnionego zawsze wzrasta”. W skali Wszechświata taką charakterystyczną cechą „oddziaływania z zewnątrz” jest ucieczka promieniowania z układu (na przykład z gwiazdy czy z galaktyki). Gdyby gwiazda lub galaktyka były izolowane, energia promienista wracałaby do nich i strzałka czasu zatracałaby się. Tymczasem stwierdzamy rozszerzanie się Wszechświata, a więc i ucieczkę promieniowania. Fizycy sądzą, że za wyróżniony kierunek przebiegu czasu odpowiedzialne jest rozszerzanie się Wszechświata. W małej skali zjawisko rozszerzania się Wszechświata nie wpływa na ogół na przebieg wielu zjawisk. Efekty rozszerzania się Wszechświata poznajemy w małej skali po zachowaniu się promieniowania elektromagnetycznego. To gwałtowne rozbieganie się promieniowania możliwe jest dzięki rozszerzaniu się Wszechświata. Równania Maxwella, opisujące pole elektromagnetyczne, są co prawda symetryczne względem czasu, czyli niezmiennicze względem transformacji $t \rightarrow -t$, ale specyficzne warunki brzegowe (rozbiegające się fale kuliste) zmuszają nas do przyjęcia rozwiązania niesymetrycznego w czasie. Nieodwracalne rozbieganie się w przestrzeni promieniowania elektromagnetycznego jest głównym powodem określonego kierunku upływu czasu; proces ten wywołuje wszystkie znane nam asymetrie czasowe. Gdyby zamknąć gwiazdę w idealnie izolującym pudle, które zapobiegałoby rozchodzeniu się fotonów w przestrzeń, zniknęłaby strzałka czasu, a entropia pozostałaby stała. Caratheodory dowiódł, że teoretycznie można wykazać istnienie w układach makroskopowych dążności do zmiany entropii w określonym kierunku, ale dopiero doświadczenie musi odpowiedzieć, jaki to kierunek.

Jest rzeczą zastanawiającą, dlaczego istniejąca symetria czasowa praw fizycznych nie znajduje swego „symetrycznego” odpowiednika w istniejącym

świecie: prawa fizyczne nie zależą od stanu ruchu układu częściowego (zasada względności), tymczasem Wszechświat „asymetrycznie” się rozszerza.

Naszkiwowaliśmy tu fizyczne powody nieodwracalności czasu. Można by podać także racje logiczne. Bywa wyrażana opinia, że struktura nieodwracalności czasu jest określana strukturą sprzężenia przyczynowego. Z kolei asymetria związku przyczynowego tkwi w samej naturze i charakterze ukierunkowanego oddziaływania przedmiotów materialnych. Operacja inwersji czasu jest postępowaniem matematycznym. Niezmiennosc względem tej operacji może objaśnić naturę badanych układów fizycznych — ich otwartość lub zamkniętość.

W tym kontekście warto zapytać, czy asymetria relacji przyczynowej (a więc relacji natury logicznej) może być powodem nieodwracalności czasu (a więc relacji natury fizycznej), oraz czy niezmienniczość równań względem inwersji czasu ma charakter matematyczno-teoretyczny, czy też odpowiada temu w rzeczywistości odwracalność zdarzeń fizycznych? Można by odpowiedzieć za R. Feynmanem (1968), że „prawa są odwracalne, zjawiska — nie”.

ZWIĄZEK LOGICZNEJ ZASADY TOŻSAMOŚCI I SPRZECZNOŚCI Z CZASEM

Czas zapewnia identyczność obserwowanych zjawisk i przedmiotów, zabezpiecza możliwość identyfikacji procesów fizycznych. Podamy przykład. W zdarzeniu centralnym dwóch identycznych kul bilardowych A i B — poruszającej się przed zderzeniem kuli A i spoczywającej kuli B — został przekazany pęd od kuli A do kuli B. Otóż aby móc stwierdzić, że nastąpił proces przekazania pędu, musimy być pewni, że w danej chwili, w momencie zderzenia w punkcie x_1 znajdowała się kula A, zaś w sąsiednim punkcie x_2 znajdowała się kula B. Przypuśćmy, że w tej samej chwili (w sensie relatywistycznej definicji równoczesności) w innych przestrzennie punktach x_3 i x_4 , gdzie znajdowały się dwie kule C i D, nastąpił podobny proces zderzenia i przekazania pędu. Otóż wychodzimy z przekonania, że były to dwa różne procesy, ponieważ kula A, znajdując się w punkcie x_1 , nie mogła jednocześnie znajdować się w innym przestrzennie punkcie x_3 . Widzimy, że relacja czasowa (jednoczesność) musi tu być wprowadzona dla zidentyfikowania przedmiotów lub procesów (kule i zderzenia).

Zagadnienie tożsamości cząstek w mikrofizyce ulega pewnej komplikacji ze względu na ich pryncypialną nierozróżnialność. Niemniej i tu obowiązuje zasada, że dana cząstka nie może być jednocześnie w dwóch różnych przestrzennie miejscach. Cząstki nie mogą nawzajem się przenikać. Stwierdzenia te nie są zależne od roli prawidłowości statystycznych i probabilistycznych w mikroświecie. Zgodnie z zasadą Pauliego, dwa elektrony o tym samym stanie spinowym nie mogą jednocześnie znajdować się w tym samym stanie przestrzennym. Widzimy więc, że i tu obowiązują pewne relacje czasowe. Jeśli przy tym należy zrezygnować z pojęcia indywidualności cząstki mikroświata, to pozostajemy także i tutaj na gruncie identyczności procesów fizycznych. Obserwując ślad w komorze pęcherzykowej, jesteśmy przeświadczeni, że w każdym punkcie toru ślad ten należy do tego samego procesu fizycznego, jakim jest na przykład rozpad hiperonu lambda zero.

Tak więc konieczność identyfikacji przedmiotów, procesów i zdarzeń wymaga wprowadzenia czasu, przynajmniej pojęcia chwili!

Podobnie jest z zasadą sprzeczności. Ontologiczną i logiczną zasadą sprzecz-

ności sformułujemy w sposób następujący: „To samo nie może zarazem przysługiwać i nie przysługiwać temu samemu i pod tym samym względem” oraz „sądy sprzeczne nie są zarazem prawdziwe” lub „dwa sądy, z których jeden tę właśnie cechę przedmiotowi przyznaje, jakiej mu drugi odmawia, nie mogą być zarazem prawdziwe”. Otóż słówko „zarazem” w przypadku przedmiotów abstrakcyjnych oznacza pojęcie mnożenia logicznego. W zastosowaniu do przedmiotów konkretnych słówko „zarazem” przybiera znamię określenia czasowego. Przedmioty te mogą tu zawierać cechy sprzeczne, ale nie „zarazem”, to znaczy nie w tym samym czasie. Jak widzimy, czas istnieje tu po to, aby rzeczy i zjawiska mogły posiadać sprzeczne cechy bez szkody dla zasady sprzeczności. Wszelki ruch bowiem, jak i wszelka zmiana, która jest nie tylko miarą czasu, ale także jednym z warunków jego istnienia, odbywa się w ten sposób, że zmieniający się przedmiot traci pewne cechy, które posiadał, a nabywa nowych, których nie posiadał. W jednym i drugim przypadku mielibyśmy sprzeczność, gdyby nie istniały różne odniesienia czasowe.¹

¹ Fragment niniejszych uwag, dotyczący zasady sprzeczności, przepisałem z odnalezionego tekstu referatu, jaki wygłosiłem — chyba — w roku 1946/47 na seminarium Prof. N. Łubnickiego nt. *Zasada sprzeczności w logice formalnej, dialektyce oraz w nauce*.

РЕЗЮМЕ

Автор статьи обращает внимание на возможность анализа понятия времени с разных точек зрения. Более подробно обсуждаются субстанциальная и реляционная, статическая и динамическая концепции времени. Обращается внимание на значение понятия воздействия, а также на его связь с понятием времени и причинным соотношением. Концепция времени в физике рассматривается вместе с понятием пространство-время. В этом контексте возникает возможность синтеза решения проблемы времени у Ньютона и Лейбница. Указывается на связь понятия времени с некоторыми логическими и онтологическими принципами и соотношениями (с отношением причинности, законом тождественности и законом противоречия). Источник анизотропии времени (стрела времени) заключается как в структуре причинной связи, так и в причинах физического характера (внешние воздействия). Удивительна симметрия почти всех законов физики по отношению к трансформации обратимости времени.

SUMMARY

The paper points to the possibility of analyzing the meaning of time from various standpoints. Substantial, relative, static, and dynamic conceptions of time and their historical aspects are discussed in detail. Attention is paid to the significance of the notion of interaction and its connection with the conceptions of time and causal relations. The concepts of spacetime in physics are also discussed. In this context there arises a possibility of a synthesis of Newton's and Leibniz's conceptions of time. Then the relation of the conception of time to certain rules and logical and ontological relationships is shown with the principles of causality, that of contradiction and the law of identity. The anisotropy of time (the time arrow) has its source both in the structure of causal coupling, and in the factors of physical nature (external interaction). The symmetry of almost all physical laws in relation to the transformation of the time reversal is remarkable.

