

Piotr FLIN, Agnieszka STĘPIEŃ
Uniwersytet Jana Kochanowskiego, Instytut Fizyki, Kielce

LUDWIK SILBERSTEIN O PRZYCZYNOWOŚCI W PRZYRODZIE

1. WSTĘP

Ludwik Silberstein urodził się w Warszawie 17 maja 1872 roku, a zmarł w Rochester (N.Y., USA) w dniu 17 stycznia 1948 roku. Studiował w Uniwersytecie Jagiellońskim, Heidelbergu i Berlinie, gdzie uzyskał doktorat (1894). Działał aktywnie głównie jako teoretyk, ale jego prace dotyczyły również zastosowań fizyki.¹ Jest uważany za wybitnego polsko — amerykańskiego fizyka i matematyka. Wykładał we Lwowie, Bolonii, Rzymie, Londynie. Był związany z firmami Adam Hilger Company (1913–1920) w Londynie, a potem (od 1920) Eastman Kodak Company w Rochester. Był obywatelem rosyjskim (z urodzenia), ale w 1920 otrzymał obywatelstwo brytyjskie, a w 1935 został naturalizowanym Amerykaninem. O jego zainteresowaniach filozoficznych świadczą książki, które przetłumaczył na język polski: Hermana Helmholtza *Zaelen und Messen, erkenntnistheoretisch bearbeitet* (1901), Henri Poincarego *La valeur de la science* (1908),

¹Silberstein jest najbardziej znany ze swoich prac z zakresu teorii względności; por. A. Pais, *Tu żył Albert Einstein*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1983. O osiągnięciach Ludwika Silbersteina w zakresie mechaniki kwantowej wspomina m.in. w swojej monografii Max Jammer, *The conceptual development of quantum mechanics*, Mac Graw–Hill, New York 1966, s. 196.

Bertranda Russella *The Problems of Philosophy* (1913), zaś na niemiecki: Williama K. Clifforda *The aims and instruments of scientific thought* (1896).

Za jego główne dzieło o charakterze filozoficznym należy uważać wydaną w 1933 roku książkę *Causality — a law of nature or a maxim of the naturalist?*² Ta licząca 8 + 159 stron publikacja została napisana w sposób charakterystyczny dla autora: barwnym językiem, bez unikania krytycznych uwag o poglądach oponentów. Zaczynem tej książki, jak też kilku innych publikacji Silberstaina, były publiczne wykłady; jeden z nich odbył się w Toronto 14 maja 1932 roku i po znaczącym rozbudowaniu stał się podstawą omawianej pozycji. Jest to książka napisana przez człowieka biorącego czynny udział w powstawaniu współczesnej fizyki, a zarazem odnoszącego się sceptycznie do nowinek naukowych.

Już sam tytuł książki: „Przyczynowość — prawo natury czy zasada przyrodników?” wyraźnie określa zainteresowanie autora. Silberstein zastanawia się nad rolą przyczynowości w badaniach naukowych, głównie w fizyce i astronomii. Należy pamiętać, że niedługo przed napisaniem tej książki powstała zasada nieoznaczoności (1927), która rzuca na zagadnienie przyczynowości inne światło niż fizyka klasyczna. Interesującym zadaniem wydaje się zatem przeprowadzenie analizy poglądów aktywnie pracującego fizyka, aby dowiedzieć się, w jaki sposób naukowe nowości były w tym okresie przyjmowane przez uczonych.³

Problem przyczynowości był w tamtych latach problemem bardzo żywo interesującym zarówno fizyków, jak też filozofów. Związane to było z jednej strony z zagadnieniem opisu fizycznego świata, zdominowanym przez poglądy dualistyczne, które można krótko scharakteryzować tytułem znanego wykładu Plancka: „Prawidłowości dynamiczne i statystyczne”; z drugiej zaś — z zastosowaniem zasad deterministycz-

²Ludwik Silberstein, *Causality — A law of nature or a maxim of the naturalist?*, Macmillan Company of Canada, Toronto 1933.

³Por. P. Flin, H. W. Duerbeck, 2006, „Silberstein, General Relativity and Cosmology”, w: *Albert Einstein Century. International Conference*, J. M. Alimi, A. Fuzi (red.), Am. Inst. Phys. 978, 1087.

nych poza wąsko pojmowanym kontekstem teorii naukowych.⁴ Była to przede wszystkim próba odpowiedzi na pytanie, na ile działania człowieka są zdeterminowane, a na ile ma on wolną wolę.⁵ „Rozpatrzenie kwestii powstałej wskutek rozwoju mechaniki kwantowej — pisał w tym okresie Planck — budzi obecnie, ze względu na swe zasadnicze znaczenie, zainteresowanie zarówno wśród fizyków, jak też daleko poza ich kręgiem. Jest to pytanie, czy najsubtelniejsze zdarzenia fizyczne, procesy atomowe, są zdeterminowane, czy nie niezdeterminowane”.⁶

2. PRZYCZYNOWOŚĆ

Pod pojęciem *causality* Silberstein rozumie przyczynowość, bądź też związek przyczynowy. Autor ten twierdzi, że terminy „przyczyna” i „skutek” są źle zdefiniowane, że są to w zasadzie pojęcia nieokreślone; w szczególności zaś nieokreślona jest relacja między nimi. Dlatego też przedstawia dwa różne podejścia do zasady przyczynowości, formułując je następująco:

I. Jednakowe przyczyny wywołują takie same skutki.

II. Każde zdarzenie ma swoją przyczynę.

Jako przykład Silberstein podaje ruch wahadła. Ciężkie wahadło zostaje ustawione pionowo i ma możliwość oscylacji w jednej płaszczyźnie. Odchylone od pozycji równowagi o kąt np. $\alpha = 15^\circ$ uderzy w ograniczającą je deskę z pewną siłą. Odchylenie wahadła *A* jest przyczyną uderzenia w deskę, czyli skutku *B*. Przypuszczamy, że jeżeli powtórzymy eksperyment z tym samym wahadłem w innym miejscu

⁴Por. M. Planck, „Prawidłowości dynamiczne i statystyczne”, w: tenże, *Jedność fizycznego obrazu świata*, Książka i Wiedza, Warszawa 1970, s. 68; M. Bunge, *O przyczynowości. Miejsce zasady przyczynowości we współczesnej nauce*, PWN, Warszawa 1968.

⁵Por. D. Bohm, *Przyczynowość i przypadek w fizyce współczesnej*, Książka i Wiedza, Warszawa 1961.

⁶M. Planck, „Determinizm czy indeterminizm?”, w: tenże, *Jedność fizycznego obrazu świata*, dz. cyt., s. 185.

i w innym czasie, to uzyskamy taki sam wynik. Zmiana wartości przyspieszenia ziemskiego g zależy od wysokości nad poziomem morza i szerokości geograficznej, więc uzyskany efekt, czyli siła uderzenia, będzie różna. Ale wydaje się, że w tym samym miejscu czas przeprowadzenia eksperymentu nie ma wpływu na siłę uderzenia. Okazuje się jednak, że ma, bo jeżeli uwzględni się położenie ciał we Wszechświecie, a w szczególności bliskich ciał Układu Słonecznego, to one oddziałując grawitacyjnie na wahadło mają wpływ na siłę uderzenia.

Przyjmuje się, że przebieg zjawiska nie zależy od miejsca i czasu jego przeprowadzania. Dyskutowany przykład z wahadłem uczy nas jednak, że przypadek (I) jest spełniony tylko w przybliżeniu. Jeżeli miałby być spełniony rygorystycznie, to pojęcie „jednakowe przyczyny” oznaczałoby „takie same stany całego Wszechświata”. A jest bardzo wątpliwym, abyśmy mieli dwa takie same stany Wszechświata. Oznacza to, że ogólna weryfikacja tego twierdzenia jest niemożliwa. Wiemy jednak, że wpływ ciał niebieskich na wahadło jest zaniedbywalnie mały, dlatego też możemy stosować zasadę przyczynowości w postaci (I) dla wybranych fragmentów przyrody, czy też dla układów izolowanych. I na tym polega wielka użyteczność tej zasady.

Rozważmy obecnie ruch tego wahadła, gdy po odchyleniu od położenia równowagi nadamy mu jakąś prędkość początkową β (np. $5^\circ/s$). Obecna przyczyna to dwa czynniki, α i β , które mogą się dowolnie zmieniać i są od siebie niezależne. Tak więc jednakowe skutki nie są wynikiem działania jednakowych przyczyn. Istnieje dowolna liczba wartości spełniających prostą zależność między α i β , takich, aby efekt B był taki sam. Można więc powiedzieć, że nieskończenie wiele przyczyn $A(\alpha, \beta)$ prowadzi do takiego samego efektu B . W omawianym przypadku nie interesuje nas, kiedy nastąpi uderzenie, czyli jaki jest czas od puszczenia wahadła w ruch do momentu uderzenia.

Silberstein rozważa stan wahadła określony przez parametry α i β w momencie odchylenia maksymalnego $t = 0$. Każdy następny stan jest wynikiem stanu wcześniejszego, czyli stan wcześniejszy jest przyczyną, a stan późniejszy można uważać za skutek stanu wcześniejszego. Silberstein wprowadza następnie pojęcie stanu i linii stanów. Stan początkowy liczy od wybranego momentu i wybiera mak-

symalne wychylenie wahadła. Wprowadza do rozważań przestrzeń fazową i ustala zależność między wychyleniem wahadła i jego prędkością kątową. Uzyskuje w ten sposób elipsę przedstawiającą zależność między tymi parametrami i określa fazę, czyli stan wahadła. Każdy punkt elipsy przedstawia nieprzerwany ciąg stanów wahadła. Można powiedzieć, że każdy późniejszy stan Q jest wynikiem stanu wcześniejszego P . Każda taka elipsa jest w danych warunkach stacjonarna, niezależna od czasu. Nie biorąc pod uwagę tarcia, można uważać takie wahadło (wraz z Ziemią) za układ zupełny, czyli system izolowany (równanie ruchu nie zależy w sposób jawny od czasu).

Silberstein przechodzi następnie do analizy pojęć: prawdopodobieństwo zdarzenia, skutku i przyczyny. „To przywodzi nas — uważa — do fascynującej dziedziny rachunku prawdopodobieństwa, gałęzi matematyki stosowanej, związanej z nazwiskami wielkiego astronoma Laplace’a i „księcia matematyków” Gaussa. Czas spędzony na tych rozważaniach będzie dobrze wykorzystany, zwłaszcza biorąc pod uwagę niektóre dzisiejsze usprawnienia podejmowane przez młodsze pokolenie fizyków, pionierów (Heisenberga, Diraca i innych) tego, co jest modnie nazywane mechaniką falową”.⁷

Wniosek z tych rozważań jest następujący: prawdopodobieństwo, że przyczyna x wywoła efekt e jest równe prawdopodobieństwu wywołania tego efektu przez tę przyczynę, podzielonemu poprzez sumę prawdopodobieństw tego samego efektu wywołanego wszystkimi możliwymi przyczynami. Silbersteinowi udaje się pokazanie w szerokim zakresie prawdziwości sformułowania (I).

Przechodzi następnie do sformułowania (II), stwierdzającego, że każde zdarzenie ma swoją przyczynę. Każdy stan wahadła ma swoją przyczynę, a jest nią stan wcześniejszy, należący do tej samej linii stanów. Ale są też inne systemy. Zmiana ciepła ciała z cieplejszego do chłodniejszego jest wprost proporcjonalna do temperatury. Na powierzchni ciała tempo utraty ciepła opisuje różnica temperatur powierzchni ciała i otoczenia. Autor rozważa przewodnictwo cieplne ciał, biorąc za przedmiot analiz miedzianą kulę, którą umieszczono w dużym zbiorniku z wrzącą wodą i trzymano w niej tak długo, aż

⁷L. Silberstein, dz. cyt., s. 21.

cała ogrzała się do 100°C . Następnie kulę położono w ciemnej piwnicy o temperaturze 0°C . Modelowo kulę tę można przedstawić, jako złożoną z koncentrycznych sfer. Mechanizm przewodnictwa cieplnego ciała można opisać, jako przenoszenie ciepła z jednej sfery do drugiej, sąsiedniej. Wewnętrzna warstwa ma wyższą temperaturę niż przylegająca zewnętrzna, a najwyższa temperatura panuje w centrum kuli. Znając rozkład temperatury w danej chwili, można odtworzyć zmiany temperatury w przeszłości i przewidzieć jej rozkład w kuli w przyszłości. Ale jest to możliwe tylko wtedy, jeżeli badamy co się działo do momentu, kiedy rozkład temperatury wewnątrz kuli był jednorodny (t_c), gdyż używana formuła opisuje tylko taki stan. Oznaczmy momenty t_1, t_2, t_3 , a także wszystkie późniejsze niż t_c , tzn. $t_c < t_1 < t_2 < t_3$. Niech wartości s_i odpowiadają kolejnym stanom sfer kuli w momencie t_i . Jeżeli ewolucja układu odbywa się zgodnie z omawianym prawem przewodnictwa cieplnego, to każdy określony stan s_i ma stan wcześniejszy s_j ($i > j$), który jest jego przyczyną, on zaś jest ich skutkiem, jak też on sam staje się przyczyną stanów następnych (dla $t > t_c$ ciąg opisujący rozkład temperatur w sferach jest zbieżny, w przeciwnym wypadku jest rozbieżny).

Jeżeli równanie ruchu systemu zależy od czasu, to wtedy mówimy o układzie niekompletnym lub zaburzonym (perturbowanym). Oznacza to, że w różnych momentach czasu układ zachowuje się inaczej. Omawiany uprzednio przykład z wahadłem może być potraktowany jako układ niekompletny, w którym da się wprowadzić zależność od czasu: wystarczy np. użyć nieprawidłowo działającego zegara. Niech wahadło będzie z żelaza i niech znajdująca się w pobliżu duża namagnesowana sztaba porusza się. W tym przypadku dane α i β nie są wystarczające do opisu, bo dochodzi element oddziaływania magnesu, który jest funkcją czasu. Rozważając wahadło (i Ziemię) jako system, otrzymamy system niekompletny. Nie jest możliwym jednoznaczne wyznaczenie stanów przeszłych i przyszłych w oparciu tylko o stan obecny (teraźniejszy). Wprawdzie stan wahadła jest opisany przez te same dwie zmienne co uprzednio, ale zachowanie się systemu jest całkowicie różne od poprzedniego. Silberstein pokazuje, że warunkiem przewidywalności zachowania systemu jest rozpatrywanie układu grawitacyjnego i magne-

tycznego nie oddzielnie, ale łącznie. Prowadzi to do układu opisanego nie przez dwa parametry, ale przez cztery. Uzyskuje się w ten sposób układ zupełny, w którym równania ruchu nie zależą od czasu.

Silberstein podkreśla, że każdy układ zaburzony (niekompletny) należy powiększyć tak, aby uzyskać układ niezaburzony. Jest to procedura szeroko stosowana w badaniach naukowych. Jako przykład podaje on odkrycie Neptuna w oparciu o analizę perturbacji Urana. Człowiek spotykając się z zaburzeniami jakiegoś układu zawsze zastanawia się, co jest źródłem tych zaburzeń. Prowadzi to do poznawania zjawisk i nowych odkryć. Taka zasada leży u podstaw poznania i to jest istotą tego, co nazywa się „przyczynowością”. Rodzi się pytanie, czy przyczynowość jest regułą uniwersalną, zawsze prawdziwą, czy też raczej mającą charakter użyteczny. Czy ta reguła jest w swych prostych zastosowaniach podstawowym i nienaruszalnym prawem przyrody, czy też kantowską konstrukcją w umyśle badacza?

Silberstein uważa, że jest to zasada filozofów naturalnych. Jest to przede wszystkim użyteczna reguła o dużej wartości heurystycznej, która staje się dla wielu badaczy przyrody „obiektem intelektualnej, emocjonalnej i estetycznej przyjemności”.⁸ U podstaw reguły przyczynowości leży wiara w jednorodność świata. Reguła przyczynowości nie ma uniwersalnego zastosowania. Nawet w fizyce klasycznej zasada ta jest limitowana. Ograniczeniem jest w tym przypadku fakt, że system staje się niekompletny. Ponieważ jest to reguła przyrodników, a nie prawo natury, jest oczywistym, iż nie można potwierdzić lub zaprzeczyć jej prawdziwości. Dyskutować można tylko na temat tego, czy jest to reguła użyteczna.

3. DETERMINIZM

Silberstein przechodzi następnie do dyskusji na temat negacji determinizmu, który pojawia się w fizyce współczesnej. Trzeba zastanowić się nad tym, co to jest determinizm. Autor ten uważa, że stwierdzenie, iż historia pojedynczego układu formuje jeden, nie rozgałęziający się łańcuch wydarzeń lub stanów, jest tautologią, bo system w danym mo-

⁸Tamże, s. 70.

mentcie czasu nie może być w więcej niż jednym stanie. Aby znaleźć znaczenie słowa „determinizm”, należy rozważyć przynajmniej dwa egzemplarze układu. Rozważmy dwa identyczne wahadła umieszczone obok siebie, których parametry (α i β) są identyczne. Jeśli te dwa wahadła zostaną umieszczone w tym samym punkcie przestrzeni fazowej, to ich linie stanów będą się pokrywać.

Możemy oczywiście zwiększyć liczbę n rozważanych egzemplarzy i wtedy będziemy mieli zagadnienie w przestrzeni n -wymiarowej, gdzie linie stanów też muszą się pokrywać. Determinizm oznacza, że zawsze jest możliwe wyznaczenie tylu parametrów, aby zapewnić koincydencje całej historii różnych egzemplarzy, jeżeli te parametry miały w pewnym momencie te same wartości dla każdego egzemplarza. Dla Silbersteina determinizm to całkowita przyczynowość. Determinizm jest też ważną regułą heurystyczną, używaną w nauce. Jak pokazuje jednakże proces rozpadu atomu, determinizm nie jest w świecie atomowym zachowany. Może to być związane na przykład z naszym brakiem wiedzy.

Silberstein wyraża opinię, iż obecnie możliwość uchylenia determinizmu jest stanowczo przedwczesna, ze względu na naszą bardzo małą znajomość fizyki spontanicznej emisji i absorpcji, oraz samej budowy atomów. Powołuje się przy tym na Heisenberga, który twierdzi, że nowa mechanika kwantowa, w przeciwieństwie do fizyki klasycznej, jest w zasadzie teorią statystyczną, w tym sensie, że nawet w wypadku dokładnych danych wyciągnięte wnioski są prawdopodobne, tzn. statystyczne.

Silberstein zwraca uwagę, iż jeżeli klasyczna teoria dopuszcza ścisłą zależność między dwoma wielkościami, to również w mechanice kwantowej istnieje odpowiadająca jej ścisła relacja, wyrażona na przykład zasadą zachowania energii. Problemem jest jedynie odpowiednie sformułowanie prawa przyczynowego. Jeżeli znamy stan obecny, to możemy z niego wyliczyć (przewidzieć) stan przyszły. Nie jest to jednakże konkluzja, ale tylko przesłanka. Z zasady nieoznaczoności wynika bowiem, że nie znamy terazniejszego stanu całkowicie, ze wszystkimi detalami. Nasze postrzeganie jest zatem wyborem z całego zespołu możliwości, i zarazem ograniczaniem możliwości w przyszłości.

Heisenberg sądzi, że za postrzeganym statystycznym światem istnieje inny, „realny” świat, który jest królestwem doskonałej przyczynowości. Ale zarazem odrzuca on tę podaną przez siebie możliwość „jako bezwzględnie jałową i bezsensowną spekulację, gdyż obiektem fizyki jest formalny opis relacji między obserwacjami”. Fizyk ten twierdzi, „że wszystkie eksperymenty podlegają prawom mechaniki kwantowej, dlatego też brak lub nieważność prawa przyczynowości zostało wyrażnie ustalone w mechanice kwantowej”.⁹

Silberstein rozpoczyna polemikę z tym twierdzeniem, pisząc, iż jest przedwczesnym stwierdzenie, iż „wszystkie eksperymenty” są zgodne z nową teorią. Jest prawdą, że w ciągu kilku lat swojego istnienia teoria znakomicie zgadza się z obserwacjami. Ale problemy sformułowane i rozwiązywane przez tę teorię to tylko najprostsze przypadki. Przywołuje „starą” teorię kwantów, która też była uważana za znakomitą, a mimo to zastąpiono ją „nową” teorią. Zgodnie z nauczaniem Kirchhoffa, zadaniem fizyki jest opis i formułowanie przewidywań, a także określanie pomiędzy nimi wzajemnych relacji; nie jest więc potrzebny jakiś „realny” świat ukryty za nimi. Temu opisowi musi towarzyszyć zbiór wielkości matematycznych, dokładnie deterministycznych praw, to jest równań różniczkowych nie zawierających czasu. Oczywiście wielkości te nie są dokładnie znane; są one jedynie mierzone z pewną dokładnością. Inaczej wyznaczane wielkości nie mają fizycznego znaczenia. Obserwowany stan układu będzie reprezentowany nie przez punkt, ale przez objętość na wykresie fazowym, i dlatego można przewidzieć przyszłość i odtworzyć przeszłość.

Zasada przyczynowości oferuje zatem śmiałą nadzieję, że jest możliwym takie wybranie zbioru wielkości, iż ograniczając warunki początkowe oraz rozmiary obszaru końcowego, możemy opisać przeszłość i przyszłość układu w sposób odpowiednio ograniczony. Tak jest w klasycznej fizyce i astronomii, a to, że teoria kwantowa nakłada ograniczenie na природę poprzez stałą h , w zasadzie nie zmienia niczego. Silberstein twierdzi, że zasada nieoznaczoności daje tylko ograniczenie precyzji równoczesnego pomiaru dwu wielkości p i q , a nie jest — jak twierdzi Heisenberg — śmiertelnym uderzeniem w zasadę

⁹Tamże, s. 109.

przyczynowości. Co więcej, te wielkości występują w ściśle deterministycznych równaniach. Silberstein przypomina zasadę korespondencji Bohra. W fizyce klasycznej rozpatrywane prędkości są znacznie mniejsze od prędkości światła c i występują tam niezależnie czas oraz przestrzeń. W fizyce dużych prędkości, w fizyce relatywistycznej, mamy czasoprzestrzeń. Stała Plancka h może pełnić podobną rolę, oddzielając obszary zastosowań mechaniki kwantowej i klasycznej. W świecie atomowym czasoprzestrzeń nie jest używana, ale być może użycie dodatkowego piątego wymiaru będzie tutaj pomocne. Mogłoby to doprowadzić do „przeformułowania koncepcji czasu i przestrzeni tak, aby podstawowa zasada determinizmu odzyskała swoją dawną chwałę”.¹⁰

4. KONKLUZJE

Silberstein prawidłowo odczytuje przyczynowość, jako zasadę przyrodników. Nie jest to taka sama reguła jak prawa fizyki klasycznej, np. prawo Ohma. Autor ten pokazuje jej dużą wartość heurystyczną. Interesującym jest jego przekonanie, że poznanie odbywa się poprzez badanie małych fragmentów natury, które dopiero po połączeniu pozwalają poznać całą rzeczywistość. Zasada przyczynowości pozwala na odkrywanie nieznanych zależności. Przywiązanie Silbersteina do determinizmu, i do analizowania układów opisanych przy pomocy równań różniczkowych niezależnych w sposób jawny od czasu, jest charakterystyczne dla zwolenników klasycznej fizyki. Silberstein nie chce przyjąć do wiadomości istnienia zasady nieoznaczoności, a właściwie istnienia procesów stochastycznych. I nie jest w tym odosobniony. Jest on głównym i zarazem najpoważniejszym antagonistą Einsteina. Ciekawe, iż obaj oni nie przejawiają entuzjazmu dla mechaniki kwantowej, a właściwie dla jej kopenhaskiej interpretacji. Obydwu tych badaczy łączy Einsteinowskie stwierdzenie: Pan Bóg nie gra w kości. Silberstein kurczowo trzyma się zasady przyczynowości. Prawdopodobnie jest to związane z jego przywiązaniem do tradycyjnego sposobu uprawiania fizyki.

¹⁰Tamże, s. 126.

Jako swoich najważniejszych nauczycieli Silberstein wymieniał Witkowskiego, Koenigsbergera, Plancka i von Helmholtza. W czasie egzaminu doktorskiego Silbersteina (5 lipca 1894) Planck był egzaminatorem z fizyki. Krytycyzm Silbersteina był szeroko znany. Jego artykuły pisane były w bardzo polemicznym tonie i na ogół trudno było odpowiedzieć na jego zarzuty. Jak pokazał rozwój nauki, Silberstein w obronie determinizmu mechaniki kwantowej nie miał racji (jak zresztą w szeregu innych polemik). Wyrażał nadzieję, że ewentualne zwiększenie liczby rozpatrywanych wymiarów do pięciu, jak w przypadku teorii Kaluzy i Kleina, pozwoli przywrócić determinizmowi jego ważną rolę również w świecie atomów. Ta wypowiedź pokazuje, iż Silberstein miał przecucie tego kierunku rozwoju fizyki, w którym rozważa się wielowymiarowy Wszechświat.

SUMMARY

LUDWIK SILBERSTEIN ON CAUSALITY IN NATURE

In this paper we present the opinions of Ludwik Silberstein (1872-1948) on the question of causality in the scientific investigations. The discussion is based on the examples taken from physics and astronomy. Silberstein is convinced that the principle of causality is an important heuristic law, a different kind of law of nature (as, for example, Kepler's laws or Ohm's law).