

UOGÓLNIENIE POJĘCIA PRZYCZYNOWOŚCI

Potrzeba uogólnienia pojęcia przyczynowości powstała w związku z niemożnością stosowania fizycznej zasady przyczynowości w mechanice kwantowej. Na temat przyczynowości w świecie atomowym napisano dziesiątki artykułów zarówno w języku polskim jak i w językach obcych. Wokół tego zagadnienia wyrosła bogata problematyka dotycząca doświadczenia makroskopowego i doświadczenia mikroskopowego, determinizmu i indeterminizmu fizycznego. Na ogół autorzy dochodzą do zgodnej wypowiedzi, że zasada przyczynowości w dotychczasowym sformułowaniu nie ma zastosowania w mechanice kwantowej. Nie trudno jest dojść do tego stwierdzenia. Jednym z celów jakie zakładają sobie nauki fizyczne to przewidywanie zjawisk. Warunkiem przewidywania przyszłych zjawisk jest określenie teraźniejszego układu materialnego. Fizyka klasyczna mając do czynienia z makrokosmosem charakteryzowała teraźniejszy stan układu z ograniczoną dokładnością. Określenie takiego stanu układu polegało na wyznaczeniu dla danego obiektu położenia i pędu. Mając określony stan układu w teraźniejszości umiemy przewidzieć jednoznacznie stan tegoż układu w przyszłości. Jeżeli jeden stan układu nazwiemy przyczyną, a drugi zaś — skutkiem, powiemy, że określona przyczyna jednoznacznie wywołuje określony skutek.

Natomiast w świecie atomowym napotykaemy zjawiska, które nie dają się z dowolną dokładnością określić i jednoznacznie przewidzieć. Wobec tego nasuwa się pytanie, czy zjawiska w mikrokosmosie są przyczynowo powiązane. Nie kwestionując przyczynowego związku pomiędzy zjawiskami mikrofizycznymi

stwierdzamy, że w świecie atomowym fizyczna zasada przyczynowości traci swój sens fizyczny. Wszak głosi ona, że jeżeli jest dany stan układu materialnego w teraźniejszości, tym samym są dane stany tegoż układu w przyszłości (i w przeszłości). Ponieważ istnieją takie stany układu, których w teraźniejszości określić nie można, przeto nie dają się przewidzieć przyszłe stany układu; z naciskiem podkreślić należy, że przyszłe stany nie dają się przewidzieć **j e d n o z n a c z n i e**. Innymi słowami nie można określonej przyczynie przyporządkować określonego skutku. Wobec tego narzuca się pytanie jak należy zmodyfikować pojęcie przyczynowości, by mogło objąć również zjawiska mikrofizyczne. Na to pytanie postaram się dać odpowiedź w niniejszym artykule.

Dla jasności i ciągłości wywodów rozważania na zamierzony temat podzielę na dwie części. W pierwszej części przypomnę czytelnikowi jak doszło do stwierdzenia, że fizyczna zasada przyczynowości nie ma zastosowania w mechanice kwantowej, w drugiej części — i to jest główne nasze zadanie — wskażę na potrzebę i sposób uogólnienia pojęcia przyczynowości, aby miało swój sens również w świecie mikrofizycznym.

PRZYCZYNOWA ZALEŻNOŚĆ ZJAWISK W FIZYCE KLASYCZNEJ

1. Przyczynowość a determinizm. Przyczynowe związki pomiędzy zjawiskami wyraża fizyczna zasada przyczynowości, którą podamy w dwóch najczęściej spotykanych sformułowaniach:

a. neotomistycznym: „W rzeczywistości materialnej bieg zdarzeń jest tak zdeterminowany, że ta sama przyczyna w tych samych warunkach wywołuje zawsze i z konieczności ten sam skutek“¹;

¹ Joseph de Vries, *Denken und Sein*, Freiburg im Breisgau 1937, 60.

² Paulette Février, *Déterminisme et indéterminisme*, Paris 1955, 1—12.

b. fizykalnym: „jeżeli dany jest stan układu materialnego w terażniejszości, tym samym dane są stany tegoż układu w przyszłości i przeszłości“.

Z pojęciem przyczynowości ściśle łączy się pojęcie determinizmu fizycznego, którym posługiwać się będziemy w toku dalszych wywodów. Definicja tego terminu nastęrcza duże trudności, co z naciskiem podkreśla Paulette Février². Determinizm jest formą którą przybiera przyczynowość we współczesnych naukach fizykalnych. Termin bowiem przyczynowość nie występuje w języku technicznym współczesnych nauk, nie zniknął jednak ze słownika filozoficznego. O tyle się mówi w naukach przyrodniczych o przyczynowości, o ile wyraża ona ideę determinizmu.

Należy odróżnić determinizm naukowy od determinizmu filozoficznego. Treść pierwszego jest zawarta w zasadzie determinizmu naukowego, a treść drugiego — w zasadzie determinizmu filozoficznego. Pierwsza zasada głosi, że każde zjawisko zależy od pewnych innych zjawisk tak że można je (to zjawisko) przewidzieć, wywołać lub udaremnić, zależnie od tego, czy chcemy je poznać, wywołać, lub udaremnić. Zasada ta aczkolwiek ogólna rozciąga się tylko na zjawiska empirycznie sprawdzalne.

Zasada determinizmu filozoficznego głosi, że wszystkie zdarzenia świata (nie wyłączając działań ludzkich) są tak ze sobą powiązane, że rzeczy posiadają w każdym momencie taki stan, któremu odpowiada jeden i tylko jeden stan późniejszy lub wcześniejszy. Klasycznym sformułowaniem determinizmu filozoficznego jest formuła Laplace'a: „Inteligencja, która by w danej chwili znała wszystkie siły, ożywiające przyrodę i wzajemne położenie rzeczy, które wchodzą w skład przyrody, i która by ponad to była dostatecznie potężna, ażeby te dane poddać analizie, ogarnęłaby tą samą formułą ruchy zarówno największych ciał wszechświata jak i najmniejszego atomu; nic nie byłoby dla niej niepewnym i przyszłość byłaby jej znana, podobnie jak przeszłość“³. Formuła determinizmu filozoficznego od-

³ Pierre Laplace, *Essai philosophique sur les probabilités*, 5^e éd., 1825, 3.

nosi się do całości zdarzeń świata a nie tylko do tego, co jest w zasięgu poznania naukowego, czyli że nie ogranicza się tylko do sfery zjawisk empirycznie sprawdzalnych lecz obejmuje również zdarzenia niesprawdzalne. O ile determinizm przekracza możliwość weryfikacji empirycznej, o tyle jest wyrazem wiary, że świat jest uporządkowany i sensowny albo, że jest wynikiem założeń antologicznych.

Determinizm fizyczny dotychczas utożsamiał się z jednoznacznym przyporządkowaniem przyczyn i skutków. Ponieważ wraz z rozwojem mechaniki kwantowej napotkano zjawiska mikrofizyczne, które nie dały się jednoznacznie przyporządkować, wprowadzono do fizyki pojęcie indeterminizmu. Indeterminizm fizyczny oznacza więc pogląd na pewną grupę zjawisk atomowych, które nie są ze sobą jednoznacznie powiązane i uzależnione.

2. Krótka analiza fizycznej zasady przyczynowości. W sformułowaniu fizycznym tej zasady jest mowa o stanie układu materialnego. Przez stan fizyczny układu rozumiemy zespół danych empirycznych, które w zupełności określają własności badanego układu oraz własności otoczenia, wywierającego wpływ na układ. Na treść zasady przyczynowości składają się dwa zasadnicze elementy:

a) schemat przewidywania, b) uwarunkowanie zachodzących w przyrodzie zjawisk.

Schemat przewidywania. Joachim Metallmann w swej książce pt. *Deteminizm nauk przyrodniczych* (Kraków 1934, 3) tak ten schemat przedstawia. Jeżeli symbole x , y , reprezentować będą jakieś stany własności lub procesy, R reprezentować będzie stosunek pomiędzy nimi, to schematem przewidywania nazwiemy taką zależność, na podstawie której ze związku y R x i znajomości jednego z elementów np. x można wyprowadzić jednoznacznie drugi element y . Ten schemat przewidywania wielu filozofów i metodologów nauk fizycznych uważało za jedyne ujęcie zasady przyczynowości lub za wyraz determinizmu sformułowanego przez Laplace'a. Zasada przyczynowości byłaby po prostu formą wnioskowania. Inni sądzą, że zasada

przyczynowości wyraża ścisłą prawidłowość. Przyczynowość byłaby dla nich synonimem prawidłowości. W naukach przyrodniczych poznanie prawidłowości utożsamiałoby się z przyczynowym.

Wręcz przeciwny pogląd wypowiada E. Meyerson przeciwstawiając pojęcie prawidłowości pojęciu przyczynowości⁴. Prawidłowość byłaby częścią składową schematu przewidywania, a przyczynowość dotyczyłaby niezmiennie zachodzących zjawisk w czasie. Pierwsza mówi o zmienności, druga zaś o niezmienności procesów w przyrodzie.

Schemat przewidywania jest istotnym elementem zasady przyczynowości, ale nie wyłącznym i nie jedynym. Bez niego nie byłoby możliwości zbudowania nauk przyrodniczych, opanowania mnóstwa zjawisk fizycznych i odkrycia nowych. Schemat ten tak bardzo rzuca się w oczy, że od czasów A. Comte'a uważano go za podstawowe i centralne zadanie nauki. W wyniku takiego stanu rzeczy Mach i Kirchoff wyrazili zgodę, że do zadań nauk przyrodniczych wcale nie należy wyjaśnianie, lecz przewidywanie zjawisk. Jeżeli ktoś twierdzi, że zasada przyczynowości wyczerpuje się w schemacie przewidywania, naraża się na zarzut jednostronnego traktowania zasady przyczynowości, bo nie docenia drugiego elementu tej zasady, jakim jest uwarunkowanie procesów fizycznych. Utożsamienie zasady przyczynowości ze schematem przewidywania prowadzi do funkcjonalnego traktowania związków przyczynowych.

b) Uwarunkowanie zachodzących w przyrodzie zjawisk. Przyczynowość oznacza, że istnienie stanu układu w danej chwili powoduje, iż w chwili późniejszej powstaje inny określony stan fizyczny. Przyczynowość więc nie jest jakimś stosunkiem abstrakcyjnym lub logicznym jak utrzymywał Mc. Taggart⁵. Reprezentuje on grupę myślicieli, według których w zasadzie przyczynowości jest mowa o stosunku logicznym, jaki zachodzi

⁴ Emile Meyerson, *Identité et réalité*, 3 éd., Paris 1926, 488 i n.

⁵ Mc Taggart, *The meaning of causality*, „Mind N. S.” XXIV (1925)

pomiędzy zdaniem: jedno z tych zdań odnosi się do przyczyny, drugie zaś do skutku. Stosunek implikacji dotyczy nie zdarzeń, lecz zdań. Co innego, że dogodnie jest rozszerzyć zastosowanie implikacji na same zjawiska i twierdzić, że „jeżeli jedno zdanie implikuje drugie, zdarzenie, o którym mowa w pierwszym zdaniu, implikuje zdarzenie, o którym mowa w drugim“. Wbrew Taggartowi stwierdzamy, że przyczynowość jest zależnością dynamiczną, rezultatem działania sił, które powodują zmiany w przyrodzie. Istnieje coś realnego, co łączy przyczynę ze skutkiem. Mówi się, że rzeczy oddziałują na siebie. Nie podzielamy również dobrze znanego stanowiska Hume'a w odniesieniu do zjawisk przyczynowych. Jego analiza przyczynowości jest opisem genezy związku przyczynowego ale ten opis nie jest jedyny, nie jest wystarczający i zupełny.

Pojęcie przyczyny i skutku, ich wzajemny stosunek, to również stanowi treść zasady przyczynowości pozostającą w związku z analizą doświadczenia i ze stanowiskiem filozoficznym, które się zajmuje. Pogląd na przyczynowość zmienia się zależnie od poglądu na doświadczenie, na czas, i przestrzeń, jak również pozostaje w związku z analizą poznania prawdy i rolą poznawczą rozumu. Tak na przykład pojęcie przyczynowości, które wypracował Kartezjusz, jest rezultatem analizy doświadczenia dokonanej przez Galileusza, a znowu prawo powszechnego ciężenia Newtona wprowadza nowe pojęcie siły grawitacyjnej oprócz znanej już siły bezwładności. W związku z pojęciem siły grawitacyjnej powstają nowe koncepcje wzajemnego oddziaływania ciał. Jeżeli dane zdarzenie traktować jako skutek, to za przyczynę jego uważano zdarzenia, które go bezpośrednio poprzedziły. Pojęcie bezpośredniości napotyka poważne trudności. Skoro najmniejszy okres czasu nie może oddzielać skutku od przyczyny, należałoby wnioskować, że są równoczesne. Wówczas trudno zrozumieć przebieg zdarzeń w czasie.

Postulat bezpośredniego stosunku czasowego pomiędzy przyczyną i skutkiem wiąże się z zagadnieniem oddziaływania na odległość, które (działanie) przyjmował Newton. Doświad-

czenie poucza nas, że układ fizyczny oddziaływa na oddalony drugi układ po upływie pewnego czasu a nie od razu. Na przykład fale radiowe wymagają czasu, aby przejść od stacji nadawczej do stacji odbiorczej. Wobec tego należy stwierdzić, że działania w dal nie istnieją. A to dowodzi, że stosunek bezpośredniej styczności pomiędzy przyczyną i skutkiem istnieje nie tylko w czasie, ale i w przestrzeni.

Przytoczone przykłady dostatecznie uczą, że oprócz schematu przewidywania fizyczna zasada przyczynowości wyraża wzajemne uwarunkowanie zjawisk fizycznych, których charakterystyka zależy głównie od wyników analizy doświadczenia.

3. Jednoznaczność stosunku przyczyny do skutku. W filozofii tomistycznej i w fizyce klasycznej przyjmowano zasadę jednoznaczności skutku i przyczyny, którą można wyrazić w następujący sposób: dana przyczyna wywołuje określony skutek, lub ta sama przyczyna pociąga za sobą jeden tylko i ten sam skutek, lub wreszcie odtwarzając taką samą przyczynę otrzymujemy zawsze taki sam skutek.

Ponieważ w przyrodzie nie ma zupełnie dokładnych powtórzeń, nie podobna z całkowitą dokładnością eksperymentalnie stwierdzić, że te same przyczyny pociągają za sobą te same skutki. Prawdopodobieństwo uzyskane na drodze doświadczenia jest jednak tak duże, iż zjawiska w przyrodzie uważamy praktycznie za powtarzalne. Nadto przyjęcie powtarzalności zjawisk jest możliwe wówczas, gdy w dokładności pomiarów nie posuwamy się zbyt daleko.

4. Postulat ciągłości zmian. W fizyce klasycznej twierdzi się, że w procesach przyrody panuje ciągłość, a więc że bardzo małej modyfikacji przyczyny odpowiada bardzo mała zmiana skutku. Z tego powodu związkom przyczynowym można było nadać matematyczną formę równań różniczkowych. Matematyczne funkcje wyrażające stosunki ilościowe w związkach przyczynowych muszą być ciągłe i jednoznaczne, ażeby wyrażały wspomnianą właściwość przyczynowości. Funkcje te pozwalały obliczyć dla każdej chwili wartości liczbowe wielkości fizycznych, które charakteryzują badany układ. A zatem prawa

te są wyrazem determinizmu w przyrodzie. Typowym wyrazem praw deterministycznych są prawa mechaniki Newtona. W prawach tych wyraża się również fakt, że w przebiegu jakiegoś zjawiska odgrywa rolę nie tylko stan bezpośrednio poprzedzający, lecz również procesy zachodzące w jego otoczeniu najbliższym. Wystarczy wziąć pod uwagę to najbliższe otoczenie, ponieważ nawet najdalsze zjawiska mające wpływ na rozpatrywany proces muszą w myśl zasady ciągłości czasowo-przestrzennej procesów przejść przez to otoczenie i oddziaływać na nie.

Ruchy układu materialnego dla dowolnej chwili wyznaczymy na podstawie praw Newtona, jeżeli znamy składowe położenia i prędkość wszystkich części układu w jakiegokolwiek chwili.

Przyczynowość która spełnia warunki omówione w punktach 1, 2, 3, 4 Czesław Białobrzeski nazwał przyczynowością deterministyczną lub jednoznaczną⁶.

W zakończeniu należy stwierdzić, że fizyczna zasada przyczynowości pozwala dokładnie przewidzieć proces przyrody, gdy są znane warunki początkowe. Na tym polega jej wartość poznawcza w fizyce klasycznej.

PRZYCZYNOWOŚĆ W MIKROKOSMOSIE

1. Opis stanu układu atomowego. Stan układu określa się w mechanice kwantowej matematycznie przy pomocy jednej funkcji, która czyni zadość równaniu Schrödingera. W opisie klasycznym układu wymagało się wyznaczenia położenia i prędkości każdego elementu. Składowe położenia i prędkości w zależności od czasu otrzymywano przez rozwiązanie równań ruchu. W mechanice kwantowej układ traktuje się statystycznie i opisuje się go przez jedną funkcję falową. Elementy układu

⁶ Czesław Białobrzeski, *Podstawy poznawcze fizyki świata atomowego*, Warszawa 1956, 283—294.

nie są traktowane odrębnie, lecz jako części składowe podporządkowane całości. Całość tworzy tu pewną strukturę nadrzędną w stosunku do elementów, które w skład tej struktury wchodzi. Rozwiązania równania Schrödingera, które reprezentują stany układu atomowego nazywają się funkcjami własnymi układu, a odpowiadające tym rozwiązaniom stany — stanami własnymi. Układ atomowy może niezajdować się w stanie własnym, wówczas funkcja która go wyraża, jest rozwiązaniem drugiego ogólnego równania Schrödingera. Taki stan można uważać za kombinację stanów własnych. Powstaje on przez nakładanie się stanów własnych. Stąd nazywa się go nieraz stanem mieszanym. Mieszanina stanów własnych tworzy tzw. paczkę falową. Pierwsza funkcja falowa charakteryzuje układ falowy w stanie stacjonarnym, niezmiennym w czasie. Druga zaś funkcja opisuje zachodzące w czasie zmiany jakiegoś układu, który znajduje się w stanie niestacjonarnym. Druga funkcja zawiera w sobie pierwszą jako przypadek szczególny.

Z funkcji falowej Schrödingera nie otrzymuje się określonej wartości dla każdej wielkości fizycznej, lecz prawdopodobieństwa możliwych wartości. Mechanika kwantowa wyłącza w zasadzie ze swego systemu pojęciowego dokładne i jednoznaczne przewidywanie zjawisk. Z tego się wnosi, że u podstaw rzeczywistości fizycznej tkwi indeterminizm ⁷.

2. Trzy odmiany indeterminizmu.

a) Indeterminizm w czasie ⁸. Od Rutherforda i Soddy'ego (1903) nauczyliśmy się tłumaczyć zjawiska promieniotwórcze ciał radioaktywnych. Weźmy pod uwagę zbiorowisko atomów radu. Poszczególne atomy co pewien czas rozpadają się i emitują cząsteczki alfa i beta. Nowo powstałe atomy okazują się w wielu wypadkach nadal promieniotwórcze i znowu wyrzucając cząstki zamieniają się w nowe pierwiastki. Doświadczenie uczy nas, że kresem tego promieniowania jest ołów. Tak więc rad po wielu wystrzałach cząsteczek alfa i beta przechodzi

⁷ Por. tamże, 49 i n.

⁸ Por. tamże, 54 i n.

ostatecznie w ołów. Nie wiemy jaka jest przyczyna emisji tych cząsteczek, dlaczego ten a nie inny atom radu w odpowiednim momencie wypromieniowuje określoną cząstkę. Ale z doświadczenia wiemy, że niezmiennie w określonym czasie, zwanym okresem połowicznego zaniku, połowa ogólnej liczby atomów promieniotwórczych ulega rozpadowi⁹. Niemożność określenia przyczyny i czasu rozpadu zmusza nas do uznania indeterminizmu zjawisk radioaktywnych.

Nazwą zjawisk indeterministycznych w czasie obejmuje się również zjawiska promieniowania przez atomy pobudzone, czyli takie, które mają większą energię niż w stanie normalnym, nie pobudzonym. Atom pobudzony np. działaniem wysokiej temperatury może spontanicznie przejść do stanu o mniejszej energii i wyrzucić nadmiar energii w postaci fotonu. Chwili, w której następuje akt emisji określić nie możemy. Nadto nie wiemy, do którego stanu pobudzony atom przejdzie. Może on przejść do różnych stanów o niższej energii. Różnorodność emitowanych fotonów znajduje swój wyraz w różnaitości prążków widmowych tworzących znane serie Lymana, Balmera, Paschena, Bracketa i Pfunda. Możliwość przejścia nie jest jednoznacznie zdeterminowana. Co najwyżej potrafimy określić prawdopodobieństwo każdego z możliwych przejść. A zatem indeterminizm zachowania się atomu jest wyraźny.

b) Indeterminizm związany z zasadą nieokreśloności Heisenberga¹⁰. Zwróćmy uwagę na

⁹ Rozpad ciał promieniotwórczych zachodzi według funkeji wykładniczej $N = N_0 e^{-\lambda t}$, która jest rozwiązaniem prostego równania różniczkowego

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{dt} = -\lambda, \text{ gdzie } N \text{ oznacza liczbę atomów radioaktywnych, } \lambda -$$

stałą rozpadu promieniotwórczego; t — czas, w którym zjawisko promieniotwórcze rozpatrujemy; e — zasadę logarytmu naturalnego. Znając prawo rozpadu promieniotwórczego, wyrażone powyższą funkeją wykładniczą, z łatwością możemy obliczyć okres połowicznego zaniku który wynosi

$$T = \frac{0,693}{\lambda}$$

¹⁰ Por. W. Heisenberg, *Über den anschaulichen Inhalt der Quantenmechanik*, „Zeitschrift für Physik“, 43 (1927) 172—198.

ruch mikroobiektu np. elektronu w przestrzeni i spróbujmy go scharakteryzować. W fizyce klasycznej scharakteryzować stan cząsteczki znaczyło tyle, co wykonać pomiary jej położenia i pędu, a ściślej określić składowe położenia: x, y, z , i pędu: p_x, p_y, p_z . Pary wielkości fizycznych $x - p_x, y - p_y, z - p_z$ Bohr nazywał wielkościami komplementarnymi. Fizyka klasyczna milcząca zakładała, że te wielkości można określać z dowolną dokładnością. Heisenberg wykazał, że takie założenie nie jest realne w odniesieniu do świata atomowego. Na podstawie analizy różnych metod pomiarowych wywnioskował, że wielkości należących do każdej pary nie da się równocześnie wyznaczyć z całkowitą dokładnością. Jeżeli dokładnie zmierzmy składową położenia np. x , to sprzężona z nią składowa pędu p_x pozostanie nie określona i odwrotnie. Jeżeli zmierzmy równocześnie składowe położenia i pędu, wyniki pomiarów będą dokonane z pewną nieokreślonością, czyli z błędem dla jednej i drugiej wielkości. Oznaczmy nieokreśloność składowych położenia przez $\Delta x, \Delta y, \Delta z$, a nieokreśloność składowych pędu przez $\Delta p_x, \Delta p_y, \Delta p_z$. Okazuje się, że pary tych dwóch błędów pomiarowych są ściśle ze sobą związane, a mianowicie:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x = h$$

$$\Delta y \cdot \Delta p_y = h$$

$$\Delta z \cdot \Delta p_z = h,$$

gdzie h oznacza stałą Plancka.

Według Heisenberga błędy te nie pochodzą z niedokładności pomiarów, lecz tkwią w strukturze mikrokosmosu. Na podstawie powyższych wzorów twierdzimy, że im mniejsze są błędy pomiarów położenia, tym większe muszą być błędy pomiaru pędu i odwrotnie. Postulat fizyki klasycznej, według którego warunkiem określenia przyszłego stanu układu jest wyznaczenie stanu teraźniejszego, w myśl zasady nieoznaczoności jest niewykonalny. Nie mogąc wyznaczyć stanu początkowego nie potrafimy jednoznacznie wyznaczyć stanu końcowego.

Nasuwa się pytanie, dlaczego wielkości sprzężonych nie da się wyznaczyć z całkowitą dokładnością? Zdaniem Bohra i Hei-

senberga proces pomiaru powoduje zaburzenie badanego układu i uniemożliwia wyznaczenie tych wielkości. Reichenbach utrzymuje, że niemożność kontrolowania zaburzenia pozostaje w związku z zasadą nieoznaczoności i zaznacza, że ta zasada nie wynika z nieregularności zaburzeń, ale przeciwnie, niemożność kontroli zaburzenia jest konsekwencją zasady nieokreśloności. Z tego wyprowadza się wniosek, że opis przestrzenno-czasowy i zasada przyczynowości są aspektami komplementarnymi biegu zjawisk w przyrodzie.

c) *I n d e t e r m i n i z m p o m i a r o w y*. Do pojęcia indeterminizmu pomiarowego dochodzimy w wyniku analizy zaburzenia układu atomowego w czasie pomiaru. Ta odmiana indeterminizmu jest zbliżona do zasady nieokreśloności Heisenberga, ale ma cechy odrębne i dlatego zdaniem Białobrzeskiego zasługuje na oddzielne potraktowanie. Wiemy, że mieszanina stanów własnych tworzy tzw. paczkę falową. Według mechaniki kwantowej akt pomiaru takiej mieszaniny pociąga za sobą zjawisko, które się nazywa redukcją paczki falowej.

Postawmy sobie za zadanie wykonać pomiary jakiejś wielkości, która charakteryzuje jedną z własności fizycznych układu. Załóżmy, że tą wielkością będzie energia układu. Gdy dokonamy pomiaru energii układu, którego stan wyraża się paczką falową, to w wyniku otrzymamy jedną z wartości własnych energii; znaczy to, że paczka falowa zredukowała się do jednej fali, która odpowiada temu stanowi. Stwierdzamy więc, że w akcie pomiaru następuje gwałtowna zmiana stanu, która unicestwia wszystkie składowe stany z wyjątkiem jednego. Który ze stanów własnych, w wyniku pomiarów, otrzymamy, nie wiemy, czyli w wyniku pomiaru mieszaniny stanów własnych nie możemy jednoznacznie określić. Wobec tego mamy tu do czynienia z indeterminizmem. Natomiast prawdopodobieństwo otrzymania efektywnego rezultatu pomiaru da się określić z dokładnością matematyczną.

3. Niemożność zastosowania zasady przyczynowości w mechanice kwantowej. Obecnie spróbujemy zastosować fizyczną

zasadę przyczynowości do zjawisk atomowych. Zasadę tę sformułowaliśmy (s. 2) w formie okresu warunkowego, którego poprzednik brzmi: jeżeli jest dany stan układu materialnego w teraźniejszości, a następnik: tym samym dane są stany tegoż układu w przyszłości. Heisenberg uwypuklając schemat przewidywania w omawianej zasadzie tak ją formułuje: *Wenn der gegenwärtige Zustand eines isolierten Systems in allen Bestimmungsstücken genau bekannt ist, so lässt sich der Zukünftige Zustand des Systems daraus berechnen*¹¹.

Wszystkie trzy odmiany indeterminizmu okazują nieważność poprzednika (określenie początkowego stanu układu jest niewykonalne), a w konsekwencji niestosowalność zasady przyczynowości w świecie mikrofizycznym.

Co to znaczy, że fizyczna zasada przyczynowości jest nieważna w mikrokosmosie? W rozumieniu Heisenberga znaczy to, że nie ma ona empirycznego zastosowania. Warunkiem przewidywania jest wyznaczenie początkowego stanu układu. Ponieważ zadania tego wykonać nie możemy, nie potrafimy również określić przyszłego stanu układu. Myśl tę wyraził dobitnie Max Born: „Przez to (sc. niemożność dokładnego wyznaczeniu stanu układu, dopisek własny) traci zasada przyczynowości wszelki sens w swym zwykłym ujęciu. Albowiem gdy jest zasadniczo niemożliwe poznanie wszystkich warunków (przyczyn) jakiegoś procesu, jest próżną gadaniną mówić, że każde zdarzenie ma przyczynę“¹². Podobnie Grete Hermann ostro rozprawia się z obrońcami prawa przyczynowego w mechanice kwantowej. Ci utrzymują, że relacje nieoznaczoności Heisenberga potwierdzają fakt, iż obserwacja procesów w świecie atomowym ma swe nieprzekraczalne granice. Z tego wnioskuje, że fizycy przy jak najdokładniejszej obserwacji nie będą mogli uzyskać ścisłej i wyczerpującej wiedzy o przy-

¹¹ Por. W. Heisenberg, *Kausalgesetz und Quantenmechanik*, „Erkenntnis“, 2 (1931) 174.

¹² Max Born. *Über den Sinn der physikalischen Theorien*, „Die Naturwissenschaften“, 17 (1927) 117.

czynach zmian i o tyle nie będą w stanie przewidzieć dokładnie tych zmian. W konsekwencji — twierdzą wspomniani obrońcy — jest absurdem z niemożności określenia stanu układu wnosić o nieistnieniu przyczyn fizycznych i w ten sposób podważać fizyczną zasadę przyczynowości.

Autorka odrzuca taki sposób argumentacji z pozycji pozytywizmu fizykalnego: „Ktoby wykrętnie twierdził, że poznanie determinujących przyczyn jest ograniczone, ale ich istnienia żadną miarą nie można podawać w wątpliwość, ten zasadę przyczynowości przesuwająby z dziedziny ścisłych badań przyrodniczych w dziedzinę mistyki. Jeżeli jest rzeczą zasadniczo niemożliwą rozstrzygnąć, co podpada w rzeczywistości pod dane pojęcie, to traci również swój sens wypowiedź, że w rzeczywistości coś temu pojęciu odpowiada. Los zasady przyczynowości zależy od tego, czy i o ile — stosownie do twierdzeń mechaniki kwantowej — przyszłe przewidywania dadzą się zamknąć w pewnych granicach“ (tłumaczenie moje)¹³. Widać wyraźnie, że autorka utożsamia zasadę przyczynowości ze schematem przewidywania.

4. Czy da się utrzymać pojęcie przyczynowości w mechanice kwantowej? Historia nauk nie wyłączając fizykalnych świadczy, że umysł ludzki skłonny jest do tworzenia niewzruszonych zasad. System pojęć fizyki klasycznej utrwalił się i obowiązywał od Kanta do końca XIX w. tak że budowano na jego podstawie światopoglądy. Jedną z takich niewzruszonych zasad była fizyczna zasada przyczynowości w dotychczasowym sformułowaniu z którą łączono treść o ciągłości procesów i o jednoznaczności stosunku przyczyny do skutku.

Rozwój mechaniki kwantowej w okresie od 1900—1925 r. zakwestionował ciągłość zmian fizycznych. Przekonano się, że działania w świecie atomowym dokonują się pewnymi porcjami energii tzw. kwantami. Nie możemy więc dowolnie modyfikować przyczyn jak to miało miejsce w fizyce klasycznej i twier-

¹³ Por. Grete Hermann, *Die Naturphilosophischen Grundlagen der Quantenmechanik*. Berlin 1931, 12.

dzić, że dowolnie małym zmianom przyczyny odpowiadają dowolnie małe zmiany skutków. W świecie atomowym kwant energii reprezentowany przez $h\nu$; ono jest tą najmniejszą porcją, której przyroda dzielić nam nie pozwala.

W następnym okresie od 1925 r. zakwestionowano jednoznaczność stosunku przyczyny do skutku, a co zatym idzie jednoznaczne przewidywanie zjawisk. Do czasu powstania mechaniki kwantowej sformułowanie schematu przewidywania w zasadzie przyczynowości nie ulegało zmianie, mimo iż zmieniły się poglądy na uwarunkowanie związków przyczynowych zależnie od analizy doświadczenia. Mechanika kwantowa narzuciła rewizję dotychczasowych pojęć przyczynowych. Okazało się, że nie jest konieczne z pojęciem przyczynowości fizycznej łączyć jednoznaczne przewidywanie i ciągłość procesu. Nasuwa się więc potrzeba zmodyfikowania pojęcia przyczynowości w sensie jego uogólnienia w taki sposób, by obejmowało zarówno zjawiska mikroskopowe jak i makroskopowe i by miało zastosowanie zarówno w fizyce klasycznej jak i współczesnej.

Rzućmy okiem raz jeszcze na zadania fizyki klasycznej. Żądano od niej, żeby dała opis mechanizmu zjawiska. Zadanie to polegało na opisie poszczególnych stanów układu, z których każdy poprzedni jest przyczyną następnego. Można powiedzieć, że tłumaczenie zjawisk polegało na poszukiwaniu związków przyczynowych. W ten sposób fizyka klasyczna ugruntowała zasadę przyczynowości, która głosi, iż określona przyczyna wywołuje jeden ściśle określony skutek.

Typowym przykładem przemawiającym za przyczynowym powiązaniem zjawisk jest układ planetarny. Astronomowie z zadziwiającą dokładnością potrafią wyznaczyć położenia i prędkości planet w danej chwili. W oparciu o podstawowe prawa mechaniki mogą określić położenia i pędy planet w przyszłości i w przeszłości. Jesteśmy przeświadczeni, że ruchem planet rządzi zasada przyczynowości.

A oto inny przykład. Na stole bilardowym znajduje się szereg kul. Zakładamy, że znamy położenia wszystkich kul

znajdujących się w spoczynku. Wprawmy w ruch jedną z tych kul z określoną prędkością i w określonym kierunku. Teoretycznie możemy wyznaczyć drogę kuli poruszanej i kul, z którymi się ona zderza. Jeżeli uwzględnimy nadto odchylenia kul w ruchu wskutek ruchu obrotowego i tarcia, przy określeniu ruchu kul napotykamy ogromne trudności. A jednak w dalszym ciągu jesteśmy przekonani, że ruchy kul są ściśle ze sobą powiązane przyczynowo.

A teraz weźmy pod uwagę naczynie wypełnione gazem. Śledzenie drogi i prędkości poszczególnych cząstek jest niewykonalne. Wobec takiego stanu rzeczy fizycy zastosowali metody statystyczne do tego olbrzymiego zbiorowiska cząstek. Wyznaczają oni średnią prędkość, średnią długość drogi swobodnej itp. I nikt nie wątpi, że ruchy poszczególnych cząstek stosują się do zasady przyczynowości.

Wreszcie przejdźmy do znanych nam zjawisk promieniotwórczych i do kwestii wyznaczenia położenia i pędu mikroobektu. Stajemy tu wobec zagadnienia indeterminizmu. Rzecz w tym, by zdać sobie jasno sprawę z tego, czym właściwie jest indeterminizm fizyczny. Indeterminizm jest negacją determinizmu i dlatego głosi, że nieprawdą jest, że zjawiska są tak zależne od siebie, iż można je między innymi jednoznacznie przewidzieć. Tak rozumiany indeterminizm należy uznać. Istnieją bowiem zjawiska mikrofizyczne, których jednoznacznie przewidzieć nie możemy.

Nasuwa się wielkiej wagi pytanie, czy indeterminizm znaczy tyle, co brak przyczynowości. Odwołujemy się do doświadczenia. W wypadku emisji fotonu, gdy atom jest pobudzony, nie wiemy, do którego stanu atom przejdzie. Możliwość przejścia nie jest jednoznacznie określona, ale istnieje określone prawdopodobieństwo każdego z możliwych przejść. Nie możemy powiedzieć, że przyczyna emisji kwantu promieniowania nie jest nam znana. Przyczyną emisji był pobudzony stan atomu. Inna sprawa, że taka znajomość przyczyny pozwala nam określić jedynie prawdopodobieństwo przebiegu zjawiska. Dla tej grupy zjawisk indeterministycznych wcale nie wyklucza

się przyczynowej zależności. Nic nas bowiem nie zmusza do łączenia z pojęciem przyczynowości jednoznacznego przewidywania zjawisk.

Do takiego samego wniosku dojdziemy, gdy rozpatrywać będziemy pomiar paczki falowej.

Większa trudność nasuwa się dopiero wówczas, gdy analizujemy zjawiska naturalnej promieniotwórczości. Naturalny rozpad ciał radioaktywnych następuje samorzutnie bez naszej interwencji. Przyzwyczajeni do przyczynowego ujmowania procesów w przyrodzie pytamy nadal o przyczynę zjawisk promieniotwórczych. Przyczyn tych zjawisk wskazać nie potrafimy¹⁴. Ale czy niemożność wskazania przyczyny jest równoznaczna z jej nieistnieniem? Pozytywiści fizykalni tacy jak: Heisenberg, Bohr, Grete Hermann dadzą na to pytanie odpowiedź twierdzącą. Ich zdaniem jeśli ktoś twierdzi, że istnieje przyczyna jakiegoś zjawiska a nie umie jej określić, ten przesuwając zagadnienie z terenu naukowego w sferę fikcji. Czy takie twierdzenie jest słuszne? Wydaje się że nie. Wprawdzie nie umiemy określić przyczyny samorzutnego rozpadu jąder substancji promieniotwórczych i nie potrafimy jednoznacznie przewidzieć, który z atomów radioaktywnych ulegnie rozpadowi, jednak jesteśmy w stanie dokładnie obliczyć czas połowicznego zaniku. Indeterminizm w odniesieniu do ciał promieniotwórczych nie oznacza jakiegoś chaosu, braku regularności. Przeciwnie, zjawiska promieniotwórcze przebiegają prawidłowo. I ta właśnie prawidłowość jest podstawą uogólnienia pojęcia przyczynowości czyli rozciągnięcia tego pojęcia na świat mikrofizyczny.

Fizyczna zasada przyczynowości w dotychczasowym sformułowaniu nie ma zastosowania w mikrokosmosie dlatego, że

¹⁴ L. de Broglie; *La Physique Quantique restera-t-elle indéterministe?* Tłum. St. Ruppert w zbiorze artykułów pt. *Zagadnienia filozoficzne mechaniki kwantowej i teorii względności*, Warszawa 1955: „Trzeba przyznać, że w chwili obecnej teoria zjawisk jądrowych a w szczególności sił zabezpieczających stałość jądra jest daleka od zaspokojenia nas”, (s. 141).

głosi jednoznaczne odniesienie przyczyny do skutku. W świecie atomowym zaś spotykamy zjawiska, które nie są jednoznacznie lecz wieloznacznie określone. Prawdliwość istniejąca wśród nich jest również podstawą formułowania praw, którym zjawiska podlegają. Są to prawa probabilistyczne¹⁵. Prawom tym możemy nadać ściśle matematyczną formę. Że mikrokosmos pozostaje pod rządami praw probabilistycznych, to nie przekreśla pojęcia przyczynowości¹⁶. Da się utrzymać przyczynowość w mikrokosmosie, ale będzie to przyczynowość, którą niektórzy nazywają — indeterministyczną¹⁷. Nie jest to *contradictio in adiecto*. Sprzeczność byłaby wówczas, gdybyśmy z pojęciem przyczynowości łączyli wyłącznie jednoznaczne przyporządkowanie danej przyczynie określonego skutku, ale do tego nic nas nie zmusza. Zmiana stanu układu może być określona bądź jednoznacznie bądź wieloznacznie. Załóżmy, że stan ten się zrealizował. Powiemy wtedy, że stan wytworzony należy do ściśle określonego zbioru stanów, z których każdy posiada jednoznacznie określone prawdopodobieństwo urzeczywistnienia, wyrażalne w formie matematycznej. W przytoczonym przykładzie emisji fotonów widma wodorowego przyczyną emisji określonego zbioru fotonów i urzeczywistnienia się stanu końcowego jest pobudzony stan atomu. Zmiana stanu

¹⁵ Por. Hans Reichenbach, *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics*, Berkeley and Angeles 1946, 5—9.

¹⁶ Z tym poglądem nie zgadza się H. Reichenbach. Rozważając indeterminizm w związku z zasadą komplementarności Bohra dochodzi do wniosku iż twierdzenie jakoby istniały prawa przyczynowe, towarzyszące prawom probabilistycznym i statystycznym, jest pozbawione fizycznej treści, bo nie da się empirycznie sprawdzić. Przyjęcie praw przyczynowych poza statystycznymi prawami jest interpolacją z punktu widzenia metod fizycznych niedopuszczalną. Por. tamże, 4.

Z poglądami Reichenbacha na prawa probabilistyczne, na zasadę komplementarności i przyczynowości rozprawia się S. Suworow w art. *Krytyka Machizmu w pracy Lenina i walka przeciw współczesnemu idealizmowi „fizycznemu“*. „Przekłady, Zagadnienia filozoficzne przyrodoznawstwa“ 3(4) 1945, 107—153.

¹⁷ Cz. Białobrzeski, op. cit., 300.

jednoznacznie lub wieloznacznie określona zachodzi pod wpływem przyczyn fizycznych.

Wobec tego można by nazwać przyczynowość dotyczącą zjawisk makrofizycznych przyczynowością jednoznaczną, a przyczynowość odnoszącą się do zjawisk mikrofizycznych — przyczynowością wieloznaczną. Zasadnicza różnica pomiędzy jedną i drugą przyczynowością polega na tym, że w zjawiskach mikrofizycznych musimy uwzględnić początkowy i końcowy stan układu. W zjawiskach zaś makrofizycznych zmiana stanu zależy wyłącznie od czynników początkowych. Gdy zjawisko w świecie atomowym już zaszło można wskazać czynniki, które uwarunkowały określony skutek. W mikrokosmosie mielibyśmy do czynienia z determinizmem, z ograniczeniem, bo nie jest użyteczny do jednoznacznego przewidywania zjawisk. Metodologicznie ma to swój sens, bo fizyk może na tej drodze dojść do czegoś nowego.

Białobrzesci przyczynowość jednoznaczną nazywa przyczynowością deterministyczną, a przyczynowość wieloznaczną — przyczynowością indeterministyczną. Wydaje mi się, że wprowadzenie do rozważań fizykalnych terminu „indeterminizm“ powoduje zamieszanie pojęć. Z pojęciem bowiem indeterminizmu łączy się niesłusznie myśl o przypadkowym, bezładnym, nieprawidłowym przebiegu zjawisk lub przypisuje się im właściwości działania istot rozumnych i wolnych. Natomiast uogólnienie i rozciągnięcie pojęcia determinizmu i przyczynowości na świat atomowy pozwoliłoby uniknąć tej konsekwencji. Determinizm jednoznaczny odnosilibyśmy do zjawisk makrofizycznych, a determinizm wieloznaczny do zjawisk mikrofizycznych.

Termin „indeterminizm“ należałoby raczej przesunąć na teren tych nauk, które zajmują się czynnościami i wytworami, uwarunkowanymi wolną i rozumną aktywnością ludzką.

ST. MAZIERSKI

THE GENERALIZATION OF THE CAUSALITY NOTION

The need to make the causality notion more general is connected with the impossibility to apply the principle of physical causality to the world of atoms. This principle says that if we are given the present state future states of this system. In other words, to the determined state of a system at the given moment corresponds the univocally determined state at the given moment corresponds the univocally determined state of the system at any other time.

In microcosmos we come across the phenomena which cannot be determined with any exactitude; e. g. we cannot determine the position and the velocity of an electron at the same time; we cannot predict the time of the particle emission in radioactive substances. Therefore if we are not given the initial state of a system we cannot univocally predict the next states of the same system. It does not exclude, however, the equivocal determination of the future states which is equivalent to the determination of the probability supposes the regularity existing in the world of atoms. This regularity gives the basis to maintain the causality notion also in microcosmos in the condition that we make this notion general. While the causality in macrocosmos enables us to predict the phenomena univocally, in microcosmos we can predict them only equivocally. There is nothing that would make us connect the univocal prediction of the future states of a system with the notion of causality.

The equivocal causality would, therefore, constitute the basis to determine a series of possible cases among which only one becomes real. The essential difference between the univocal and equivocal causality is that in the former the prediction depends exclusively on the initial factors while in the latter both on factors initial and final.

J. REUTT

ESSAI SUR LE PROBLÈME DE L'EXPRESSION VERBALE DES ACTES VOLONTAIRES

L'article présente les résultats des recherches concernant l'expression verbale des actes volontaires:

1. Les actes volontaires peuvent se manifester non seulement par toutes formes du langage „extérieur“ (mots, sons, gestes) mais aussi par le langage „intérieur“.