

W. Rubinowicz.

O zasadzie przyczynowości^{*)}.

Odbitka z »Czasopisma Technicznego« 1924.

Wszystkim nam tkwi świeżo jeszcze w pamięci ruch, jaki przy swem powstaniu wywołała teoria względności wśród fizyków, jak również pomiędzy niefizykami. Była to faktycznie prawdziwa rewolucja umysłów. Postawmy sobie jednak pytanie, czemu to tylu ludzi opierało się tej nowej teorii, dlaczego nie chcieli oni odrazu uznać i przyjąć jej postulatów. Odpowiedź bardzo prosta: oto dlatego, bo czas i przestrzeń są to pojęcia, w których nasz umysł, wybitnie konserwatywny, żadnych zmian nie znosi. A jednak dzisiaj umiemy już wszyscy myśleć relatywistycznie; teoria względności należy już do fizyki klasycznej, walka o nią dobiegła swojego kresu.

Ale, jak gdyby dla fizyka nie mógł nigdy istnieć czas spokojnej kontemplacji, wyłoniły się obecnie w innej znów dziedzinie fizyki, mianowicie w teorii kwantów, poważne zaburzenia. Ultimatum z tej strony nam postawione jest też niesłychanie śmiałe. Domaga się ono ni mniej, ni więcej, jak żebyśmy zerwali z zasadą przyczynowości, z zasadą, którą nawskróś przesiąknęliśmy, która nam już weszła w krew i w kości.

Cóż bowiem powiada zasada przyczynowości? Przedewszystkiem w postaci, w jakiej ją w zwykłym spotykamy życiu, brzmi ona, jak następuje: każda przyczyna wywołuje nieodzownie pewien skutek. I faktycznie w codziennem życiu zawsze tak pozostanie: odpowiednie kwantum szampana wywoła nieodzownie i zawsze pewne kwantum humoru szampańskiego. Nie bójcie się więc Państwo! Tego bowiem nawet teoria kwantów zmienić nie jest w stanie; ona się tylko na fizyka uwzięła.

Jakże to taki fizyk formułuje zasadę przyczynowości? Jako przedstawiciel nauk ścisłych musi on najpierw wyrugować z definicji wszystko, co jest pochodzenia antropomorficznego, a więc musi przedewszystkiem słówko „nieodzownie“, na polecenie Hume'a, wyrzucić na śmietnisko starych gratów naukowych. Wstawiając w miejsce słowa „nieodzownie“ wyraz „jednoznacznie“, otrzymuje wtedy według Macha następujące wysłownienie: w każdym zjawisku fizycznym można zawsze podać pewną ilość liczbowo ustalonych wielkości fizycznych, które wespół z prawami fizycznymi, występującymi przy tem zjawisku — jako przyczyna — ustalają jednoznacznie w przestrzeni i czasie wszystkie inne wielkości fizyczne, biorące udział w tem zjawisku — jako skutek. Albo, jeśli mówimy do matematyka: zasada przyczynowości jest to ów postulat fizyki, który wymaga dowodu jednoznaczności dla równań różniczkowych fizyki.

*) Wykład wygłoszony dnia 1. października 1924 na Inaugurację roku naukowego 1924/25 w Politechnice Lwowskiej.

Otóż ta zasada przyczynowości została, jak powiedziałem zaatakowana przez teorię kwantów. Ponieważ jednak my tej starej, czcigodnej zasady będziemy naturalnie, do ostatka bronili, z pietyzmu dla niej, a może więcej jeszcze ze względu na stare nasze nawyki, przeto wypada nam się oglądnąć poza siebie, by zobaczyć, jak dalece podtrzymują tę zasadę doświadczenia fizyczne. Chcąc na to pytanie dać jasną odpowiedź, muszę Państwo najpierw zapoznać z oboma światami, jakie fizyk równocześnie zamieszkuje. Jeden z tych światów zwie się makroskopowym, drugi — mikroskopowym, albo atomistycznym. Makroskopowy świat jest to świat zbiorów atomów, świat klasycznej fizyki, świat mechaniki, termodynamiki i elektromagnetyzmu. Ten świat jest dla fizyka niebem, w którym on się czuje wszechwiedzącym panem. Zna on tu wszystkie prawa fizyczne, może je wszystkie całkiem dokładnie sprawdzić doświadczalnie i wszystkie one odpowiadają wymągliwym zasadom przyczynowości. Możemy powiedzieć, że w tym świecie, w świecie makroskopowym stosuje się zasada przyczynowości bez zastrzeżeń; tutaj jest ona niedosiegalna i zabezpieczona przed każdym wrogiem atakiem.

Zgoła inaczej, znacznie więcej nieswojo czuje się natomiast fizyk w drugim świecie, w świecie mikroskopowym, atomistycznym. Chcąc okazać, że i tutaj jest on wszechwładnym panem, musiałby znać wszystkie prawa, odnoszące się do wzajemnego oddziaływania atomów między sobą, jak i do działania między atomami a eterem. Z temi jednak prawami sam on niezupełnie jest obeznany. Świat atomistyczny jest więc dla niego światem bardzo niewygodnym i powstaje pytanie, poco się on nim wogóle dręczy. Otóż w fizyce makroskopowej interesuje go tylko los gromad atomów; te jednak w rzeczywistości składają się z pojedynczych atomów. Dążenie więc fizyka do poznania rzeczywistości wtedy dopiero będzie spełnieniem, gdy znane mu będą prawa, rządzące życiem poszczególnych atomów; a to jest właśnie fizyka atomowa. Widzimy przeto, że oba światy są mu potrzebne.

A teraz postawmy sobie pytanie, czy i jak może fizyk zbudować sobie pomost pomiędzy światem atomistycznym i makroskopowym. Wydaje się to wątpliwem do uskutecznienia, jeśli weźmiemy na uwagę, że fizyk atomistyczny, jak to już wiemy, jest całkiem prawie głupi, bo uposażony w bardzo skromne tylko wiadomości. Ale wiadomo: głupiemu zwykle szczęście sprzyja! Wystarczy bowiem, aby atomistyczny fizyk te powierzchowne swoje wiadomości postawił na coś w rodzaju loteryjki, polegającej na rachunku prawdopodobieństwa, a która się zwie mechaniką statystyczną, by doszedł z mniejszym lub większym trudem do świata makroskopowego i jego praw. Jednakże loterja, jest to, jak wiemy, gra bardzo nie-

pewna, a więc mechanika statystyczna niezbyt pewnym jest środkiem pomocniczym. Stąd widać już, że prawa makroskopowe mogą zachodzić tylko w przybliżeniu, podczas gdy fizyk dąży do ścisłości! O tem więc, czy jakaś zasada zachodzi ściśle czy nie, będzie ostatecznie decydowała jedynie fizyka atomistyczna. Odnosi się to oczywiście również i do zasady przyczynowości, a mianowicie: możemy jej z całym spokojem nie uznawać, jeżeli znajdzie się w fizyce atomistycznej jedno jedyne tylko prawo, które jej nie spełnia. A właśnie teoria kwantów podaje nam takie prawo fizyki atomistycznej.

Otóż teraz pragnę w paru słowach poruszyć powody, które zmuszają teorię kwantów do zaatakowania zasady przyczynowości na gruncie fizyki atomistycznej. Niemożliwą jest rzeczą, abym tutaj Państwu najważniejsze choćby zasady teorii kwantów przytoczył. Pragnę tylko zaznaczyć, że stworzyły ją trzy najgenialniejsze umysły, trzy gwiazdy przewodnie, świecące jasno na firmamencie dzisiejszej fizyki teoretycznej: Planck, Einstein i Bohr. Najistotniejszy rys tej teorii stanowi to, że odrzuca ona w fizyce aksjomat ciągłości, aksjomat Archimedesa, jak go matematycy nazywają; podobnie zresztą, jak teoria względności odrzuca aksjomat Euklidesa o równoległości. Pewne fakty doświadczalne, jak również pewne rozważania teoretyczne prowadzą mianowicie teorię kwantów do wniosku, że z pomiędzy wszelkich stanów atomu, możliwych z punktu widzenia zwykłej mechaniki, występują w rzeczywistości tylko pewne, ustalone warunkami, jakie podaje bliżej teoria kwantów. Stany te określamy jako stany stacjonarne atomu. W takim stanie stacjonarnym pozostaje atom przez czas pewien, aby potem przeskoczyć do innego stanu stacjonarnego. Nie wszystkie jednak możliwe skoki są też dozwolone, lecz tylko pewne podane za pomocą reguły, tak zwanej zasady wyboru¹⁾. Istotnem jest przytem dla teorii kwantów założenie, że przeciąg czasu, jaki atom przepędza w jednym stanie stacjonarnym, wcale nie jest jednoznacznie podany, lecz zależy od przypadku. Stąd cały przebieg nie jest określony jednoznacznie; zasada przyczynowości nie jest zatem spełniona.

Aby to Państwu zupełnie jasno uprzytomnić pragnę zwrócić uwagę na pewien zarzut, jaki zdawałoby się, sam się narzuca. Mianowicie ktoś mógłby się starać osłabić nasze twierdzenie, przypuszczając, że cały przebieg zjawiska określony jest w rzeczywistości przyczynowo, a tylko nam ludziom, tylko nam fizykom nie są znane fakty, które sprawiają, że czas, jaki spędza atom w pewnym, dokładnie określonym stanie stacjonarnym, raz jest dłuższy, to znowu krótszy. Takiemu jednak zarzutowi racji przyznać nie możemy, albowiem wszelki stan stacjonarny określony jest zupełnie jednoznacznie. Ilekroć atom wchodzi w pewien stan stacjonarny, znajduje tu zawsze

¹⁾ Rubinowicz: „Physikalische Zeitschrift“, tom 19, str. 441 i 465, 1918. — Bohr: Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Skrifter, naturvidensk. og. mathem. Afd., 8. Raekke IV. 1.

te same warunki i niema żadnego powodu, by tam miał przebywać dłużej lub krócej.

Ten, rozstrzygający o losie zasady przyczynowości fakt, że okres czasu, w ciągu którego atom przebywa w pewnym stanie stacjonarnym, jest nieokreślony, stwierdziła teoria kwantów już w samych swych początkach; ponieważ jednak ze swej strony nie umiała ona wyjaśnić pewnych podstawowych faktów z zakresu optyki, a zatem nie objęła całokształtu optyki, zrodziło się podejrzenie, że może tkwi w niej jakiś błąd. Niebezpieczeństwo to jednak zostało usunięte! W pracy ¹⁾, która się dopiero co ukazała, a jednak wielki już podziw wzbudziła, udało się Bohrowi wcielić wszystkie zjawiska optyki w ramy teorii kwantów i wznieść w ten sposób wspaniałą budowlę. Ponadto wykazał Bohr w tej pracy, że okres czasu, jaki atom spędza w pewnym stanie stacjonarnym, faktycznie musi pozostać nieoznaczonym.

W ten sposób rozstrzygnął się los zasady przyczynowości. W fizyce atomistycznej musimy ją odrzucić; nie możemy jej więc już nadal uważać za ogólnie ważną zasadę. Przytem nic nie zmienia postaci rzeczy, że ją musimy zachować w fizyce makroskopowej, gdzie doświadczenie stwierdza jej istnienie. Jest rzeczą zrozumiałą, że fizykowi nie przychodzi łatwo rozstanie się z zasadą, którą dotychczas uważał za podstawę wszelkich badań przyrodniczych. Tylko za tę cenę może jednak utrzymać w fizyce teorię kwantów, a tylko przy pomocy teorii kwantów może fizyk cel swych dążeń, jednolity światopogląd osiągnąć.

A zatem fizyk musi pogrzebać zasadę przyczynowości. W smutnym tym obrzędzie pogrzebowym wezmą oczywiście udział również i filozofowie; w niezbyt wielkim jednak, jak sądzę, pograżeni smutku. Bo przecież zasada przyczynowości sprawiała im od tak dawna tyle trosk i kłopotów! Na zasadzie przyczynowości bowiem potykali się filozofowie przy rozwiązywaniu jednego ze swych zasadniczych problemów, problemu wzajemnego oddziaływania na siebie światów: materialnego i duchowego; albo biorąc całkiem szczególny problem, przy zagadnieniu o wolności woli. Nie należy oczywiście mniemać, jakoby usunięcie zasady przyczynowości dawało rozwiązanie tych starych zagadnień filozoficznych; w każdym jednak razie filozofowie muszą być wdzięczni nam fizykom za to, żeśmy im pomogli jedną przynajmniej przeszkodę z drogi usunąć.

¹⁾ N. Bohr, H. A. Kramers i J. C. Slater: „Über die Quantentheorie der Strahlung“, Zeitschrift für Physik, tom 24, str. 69, 1924. Ponadto wykazał Bohr w tej pracy, że zasady zachowania pędu i energii (tworzące w fizyce relatywistycznej jedną całość) nie są spełnione w fizyce atomistycznej przy zjawiskach promieniowania. Z tego wynika, że i w fizyce makroskopowej nie przedstawiają się te zasady — w przeciwieństwie do założeń dotychczasowej fizyki — jako prawa zachodzące zupełnie ściśle przy każdym zjawisku fizycznym. Odchylenia od tych praw są jednak tak małe, że dotychczasowe środki doświadczalne nie pozwalają nam jeszcze, jak to odnośnie do zasady zachowania energii Schrödinger („Die Naturwissenschaften“, tom 14, str. 720, 1924) wykazał, ich wogóle stwierdzić.