

I dlatego nie obejdzie się tu bez nowej teorii: teorii ogólniejszej niż rachunek prawdopodobieństwa. Takiej teorii jeszcze nie ma.

Zadania. 1. Udowodnić, że jeśli Z jest zwykłą rodziną zdarzeń, P — zwykłym prawdopodobieństwem oraz $A \in Z$ ustalonym zdarzeniem takim, że $P(A) > 0$, to rodzina

$$\{B \in Z: P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)\}$$

(tzn. rodzina zdarzeń niezależnych od A) jest kwantową rodziną zdarzeń.

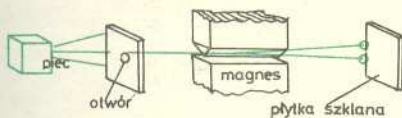
2. Pokazać, że jeśli A, B są k -zdarzeniami oraz $A \subset B$, to $B - A$ jest k -zdarzeniem.

Literatura

Tom 33 (z roku 1966) czasopisma „*Philosophy of Science*”, artykuły P. Suppesa (str. 14) i L. Cohena (str. 317).

Cudowny wynik pewnego doświadczenia

Wszystko to brzmi nieprawdopodobnie — powiecie po przeczytaniu dwóch poprzednich artykułów o mechanice kwantowej. Jak to, najbardziej fundamentalna teoria mikroświata pozwalająca przewidzieć wyniki doświadczeń z fantastyczną dokładnością nie może sobie poradzić z opisaniem losów zwykłego, swobodnego elektronu! Czy naprawdę musimy budować teorię, w której z elektronem, a raczej z informacją o nim, jeżeli nań nie patrzymy, wiążemy pewną falę (falę prawdopodobieństwa), podczas gdy w trakcie każdej obserwacji ukazuje się on nam w postaci mikroskopowej cząstki. Na tego typu wątpliwości najlepiej odpowiada zawsze doświadczenie. Opiszemy tu wyniki jednego z przełomowych dla fizyki doświadczeń, wykonanego w 1922 roku przez Sterna i Gerlacha. Idea eksperymentu jest prosta. Wiązka atomów srebra powstała przez odparowanie wytwarzającego silnie niejednorodne pole (patrz rysunek).



Następnie atomy osadzają się na płytce szklanej. Atomy srebra podobnie, jak wszystkie inne atomy, mają własny moment pędu (spin). Powstaje on ze złożenia momentów pędu jądra atomowego i elektronów. Ponieważ wszystkie składniki atomu są naładowane, więc atom taki zachowuje się jak swego rodzaju pętla z prądem i wytwarza własne pole magnetyczne, o kierunku zgodnym z ustawieniem spinu. W niejednorodnym zewnętrznym polu magnetycznym na taki atomowy magnes działa siła odchyłająca w górę lub w dół, zależna od kąta między osią magnesu, a zwrotem zmiany (gradientu) pola zewnętrznego. I tak na magnes skierowany wzdłuż gradientu działa maksymalna siła do góry, na skierowany przeciwnie maksymalna siła w dół, na magnes ustawiony prostopadle do kierunku zmiany pola nie działa żadna siła itd. Ponieważ atomy srebra wyprodukowane w piecu stanowią zbiór chaotyczny, więc związane z nimi magnesy są losowo poustawiane i na ekranie powinniśmy otrzymać ciągłą linię wzdłuż kierunku gradientu pola. Tego wymaga fizyka klasyczna i ukształtowany w codziennym doświadczeniu rozsądek. Tymczasem Stern i Gerlach znaleźli na płytce jedynie dwa izolowane punkty. Atomy srebra utworzyły tylko dwie odrębne wiązki.

Powtórzmy jeszcze raz: atomy srebra, których spiny były ustawione zupełnie chaotycznie utworzyły dwie oddzielne wiązki. Zupełnie jakby spiny atomów wiedziały (tylko skąd?), że wolno im się ustawić względem pola magnetycznego w ściśle określonych kierunkach (dwóch dla atomów srebra o spinie $1/2$). Wynik doświadczenia nie zależy od tego, jak obrócimy układ magnesów wytwarzających pole. Zawsze dostajemy dwie plamki na linii równoległej do kierunku zmiany pola. I to plamki równie intensywne. Choć wynik ten jest wprost fantastyczny, to jednak tak dzieje się w doświadczeniu. Zaczniemy teraz puszczać atomy po kolei w pewnych odstępach czasu. Pojedynczy atom nawet o znanym z poprzedniego doświadczenia ustawieniu spinu wybierze raz jedno, raz drugie ustawienie swego spinu względem kierunku zmiany pola. Tu tkwi element losowy i to w sytuacji, gdy o własnym polu magnetycznym atomu wiemy chyba wszystko. Mechanika kwantowa też oferuje nam tu tylko prawdopodobieństwo określonego zwrotu. Natomiast skwantowanie rzutu momentu pędu na każdą wyróżnioną oś jest jednoznacznym przewidywaniem w tej teorii. Pozwala ona też obliczyć z ogromną dokładnością wielkość własnego pola magnetycznego związanego ze spinem, a więc i wielkość odchylenia każdej z dwóch wiązek. Dlatego mówimy, że nie ma żadnych przesłanek doświadczalnych na to, żeby poprawiać mechanikę kwantową.

Na magnes atomowy oprócz siły odchyłającej działa też siła dążąca do ustawienia go zgodnie z kierunkiem linii pola zewnętrznego. Siła ta nie zmienia jednak kąta między magnesem i kierunkiem linii sił, a tylko wywołuje precesję dokoła tego kierunku. Jest tak dlatego, że własne pole magnetyczne atomu jest związane z występowaniem własnego momentu pędu i atom stanowi mały giroskop.

Samo urządzenie Sterna-Gerlacha po wywierceniu otworu na ekranie w miejscu, gdzie pada jedna z wiązek, stanowi przyrząd do wytwarzania atomów o określonym zwrocie spinu. Można przesledzić cały aparat pojęciowy mechaniki kwantowej ustawiając szereg takich urządzeń (filtrów), różnie obróconych, jedno za drugim, i analizując wyniki wymyślonych tak doświadczeń.

Wyniki doświadczenia Sterna-Gerlacha zostały przewidziane przez tzw. starą teorię kwantów przed jego wykonaniem.