

# Pomiar kwantowy

Ewa CZUCHRY

Układ kwantowy jest opisywany tak zwanym stanem kwantowym układu – jest to obiekt matematyczny zawierający pełną informację o układzie. Nie wszystkie parametry opisywane przez stan kwantowy mogą być zmierzone – te, które da się wyznaczyć za pomocą pomiaru, nazywa się obserwabliami. Może to być np. pęd czy położenie. W mechanice kwantowej obserwabli są reprezentowane przez operatory, którymi można podzielać na stan układu kwantowego.

Układ kwantowy znajduje się w stanie własnym operatora danej obserwabli, jeśli w wyniku działania tego operatora na stan kwantowy otrzymujemy jedną określoną liczbę charakteryzującą ten stan. Liczba ta jest wtedy wynikiem pomiaru.

Może się jednak zdarzyć i tak, że układ nie będzie w stanie własnym danego operatora. Można wtedy stan kwantowy tego układu zapisać w postaci sumy stanów własnych, pomnożonych przez współczynniki określające prawdopodobieństwo znalezienia się układu w danym stanie własnym. Jeśli na takim układzie przeprowadzimy pomiar kwantowy, otrzymamy wynik liczbowy, będący współczynnikiem stojącym przy jednym ze stanów własnych, oraz zmianę stanu układu, który zostanie zredukowany do tego jednego konkretnego stanu własnego. Na przykład, w przypadku pomiaru polaryzacji fotonu, o którym wiemy, że jest on z pewnym prawdopodobieństwem spolaryzowany pionowo, a z pewnym poziomo, otrzymamy jedną z tych dwu wartości. Jeśli wynik pomiaru wskaże na polaryzację poziomą, to od tej chwili foton będzie się znajdował w stanie polaryzacji poziomej, i każde następne sprawdzenie tego faktu da taki sam wynik.

Pomiar kwantowy jest zatem czymś więcej niż pasywną operacją dostarczającą informacji o stanie układu – taką, jaką jest pomiar klasyczny. Wynikiem jego działania są dwa rezultaty: klasyczny wynik pomiaru oraz dodatkowo przekształcenie samego układu poddawanego pomiarowi. Co więcej, nie jest to operacja deterministyczna: możemy mieć kilka układów o takim samym stanie początkowym, a w wyniku pomiaru otrzymać różne wartości liczbowe oraz różne stany przyjmowane przez ten układ. Na przykład, w wyniku pomiaru wspomnianej polaryzacji fotonu możemy otrzymać zarówno polaryzację pionową, jak i poziomą.

Z modyfikacją stanu kwantowego przez pomiar wiąże się zasada nieoznaczoności, mówiąca, że nie da się wyznaczyć jednocześnie dwóch wielkości fizycznych o różnych stanach własnych, np. pędu i położenia lub energii i czasu. Mierząc położenie fotonu, powodujemy, że jego stan kwantowy redukuje się do stanu własnego operatora położenia. Nie jest to jednak stan własny operatora pędu i nie można jednoznacznie określić jego wartości. Aby uzyskać jednoznaczną wartość pędu, trzeba w procesie pomiaru przekształcić stan fotonu (już zredukowany do stanu własnego położenia) w stan własny pędu, ale badamy wtedy już inny stan kwantowy niż ten początkowy, niezaburzony pierwszym pomiarem.

Wspomniane własności pomiaru kwantowego mogą budzić głęboki intuicyjny sprzeciw, nic dziwnego, że poświęcono mu wiele dyskusji i rozważań. Są też jednak i pozytywne strony aktywnego charakteru tego procesu. W rozwijającej się ostatnio dynamicznie kwantowej teorii informacji – znajdującej zastosowanie w kwantowej kryptografii czy budowie komputera kwantowego – pomiar kwantowy odgrywa bardzo ważną rolę, czasami wręcz dokonuje się pomiaru tylko po to, aby przekształcić stan układu, nie otrzymując o nim żadnej informacji.



## Rozwiązanie zadania F 722.

Postępując analogicznie jak w poprzednim zadaniu, otrzymujemy

$$F = pS = \frac{2\alpha}{l}S,$$

gdzie  $l$  jest grubością krążka rtęci, a  $S = \pi r^2$  jego polem. Mamy też, że

$$l = \frac{m}{\rho\pi r^2} \quad \text{i stąd} \quad F = \frac{2\pi^2\rho\alpha r^4}{m} \approx 800 \text{ N.}$$