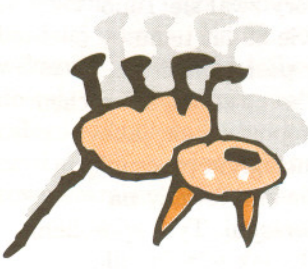
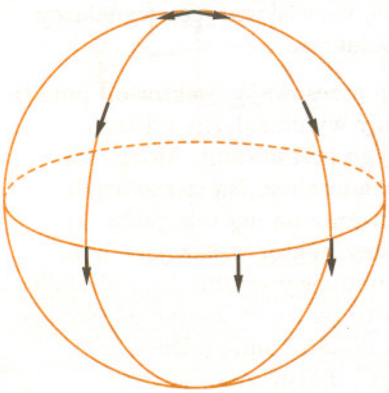
Dlaczego kot Schrödingera ląduje na czterech łapach?

Marie ERICSSON
Erik SJÖQVIST

Koty trzymane do góry nogami i upuszczone lądują niemal zawsze na czterech łapach. Nurkowie potrafią wykonywać manewry obrotowe bez żadnych początkowych momentów pędu. Satelity mogą zmieniać swą orientację bez zewnętrznego wpływu. Jak to im się udaje? Odpowiedź kryje się w holonomii, obrocie odbywającemu się bez lokalnej zmiany opartej na działaniu sił zewnętrznych.



Holonomię łatwo jest zademonstrować na przykładzie wektora. Jeśli bowiem wektor styczny do sfery przemieścimy równolegle wzdłuż krzywej zamkniętej na sferze, tzn. utrzymamy jego orientację w stosunku do promienia sfery, to po powrocie do punktu początkowego wektor wskazywać będzie inny kierunek niż początkowo. W ten sposób bez żadnej zmiany wektor „rotuje globalnie". Kąt obrotu (kąt holonomii) jest zależny tylko od krzywizny powierzchni, a dokładniej: jest równy kątowi bryłowemu, jaki wycina promień wodzący poruszającego się punktu. W ten sposób można również interpretować skręt wahadła Foucault jako swoistą miarę krzywizny Ziemi.



Kąty holonomii są również charakterystyczną cechą mechaniki kwantowej, jak zostało to odkryte w 1984 roku przez M.V. Berry'ego. Wykazał on między innymi, że cząstki o spinie połówkowym (a w istocie każdy dwupoziomowy system) po obiegnięciu zamkniętej krzywej pod wpływem wolno rotującego pola magnetycznego osiągają fazę holonomiczną równą *połowie* kąta bryłowego wyciętego przez kierunek spinu. Ta tzw. faza geometryczna może być wyjaśniana przez przesunięcie równoległe wektora po sferze, tak jak na rysunku. Analogia z przesunięciem wektora jest jednak niekompletna, gdyż czynnik $1/2$, stojący przed miarą kąta bryłowego, jest charakterystyczną cechą kwantową, która nie znalazła klasycznego wyjaśnienia. Ogólnie, faza geometryczna dla jakiejkolwiek wartości spinu jest iloczynem tego spinu i kąta bryłowego, a zatem widać jej zależność od wielkości czysto kwantowej.

Fazy geometryczne próbuje się ostatnio wykorzystać w komputerach kwantowych. W komputerze takim zamiast klasycznych bitów, tzn. liczb 0 lub 1, mamy kwantowe układy dwupoziomowe (np. atom o jednym stanie wzbudzonym – wtedy „poziomami" są: stan podstawowy $|0\rangle$ i stan wzbudzony $|1\rangle$). Układ kwantowy nie musi znajdować się tylko w stanie $|0\rangle$ albo $|1\rangle$, tzn. być w stanie podstawowym albo wzbudzonym, ale może także znajdować się jednocześnie w dwóch stanach, np. w superpozycji „$|0\rangle + |1\rangle$". To, razem z możliwością korelacji qubitów, powoduje, że stan wejściowy N qubitów może składać się z 2^N różnych stanów kwantowych. To z kolei umożliwia prowadzenie 2^N-wymiarowych obliczeń równoległych.

Jednakże takie skorelowane stany są bardzo wrażliwe na szum zewnętrzny, który może usunąć korelację pomiędzy qubitami, a także zredukować qubity do zwykłych bitów, przez co traci się równoległość obliczeń. Ostatnio wysunięto i zastosowano pomysł wykorzystania fazy geometrycznej do zwalczania szumów w jądrowym rezonansie magnetycznym. O zjawisko to oparte są obiecujące systemy prowadzenia obliczeń kwantowych, w których qubitami są jądra atomowe o spinie $1/2$ umieszczone w zewnętrznym polu magnetycznym. W ten sposób wygenerowano tzw. *bramkę kontrolowanego przesunięcia fazy.* Wykorzystano przy tym oddziaływania między spinami pary jąder, stanowiących qubity, w ten sposób, że geometryczna faza jednego qubitu zależała od stanu drugiego qubitu. Dobierając odpowiednią fazę przesunięcia, uzyskujemy bramkę kontrolowanego zaprzeczenia C-NOT, o której można przeczytać w numerze majowym *Delty.*

Przyczyny, dla których faza geometryczna stała się bardzo popularna od 1984 roku, to przede wszystkim uniwersalność pojęcia fazy występującej nie tylko w kwantowej, ale i klasycznej mechanice, piękno geometrycznej pamięci w ewolucji systemu, a także fakt, że przez długi czas nie dostrzegano wyraźnie tego pojęcia, choć mechanika kwantowa jest wśród nas nie od dziś...