Wyklad1

23 września 2012
23:12

Literatura:

- „Quantum theory & Measurement" Wheeler, Zurek
- „Q. detection and estimation theory", Helstrom
- „Probabilistic and statistical aspects of q. theory" Holevo
- „Fundamentals of statistical signal processing – estimation theory" Kay (klasyka)

I. POMIARY KWANTOWE

1. Aspekty filozoficzne

1.1. Postulat pomiarowy w mechanice kwantowej

Z każdą mierzalną wielkością fizyczną związany jest operator hermitowski $A = \sum_i \lambda_i |a_i\rangle\langle a_i|$
↑ widmo spektralne

W wyniku pomiaru stanu $|\psi\rangle$, uzyskujemy wynik λ_i z prawdopodobieństwem $p_i = |\langle\psi|a_i\rangle|^2$

Przy pomiarze nastąpi: $|\psi\rangle \longrightarrow |a_i\rangle$
(Redukcja funkcji falowej)

Wartość oczekiwana obserwabli $\langle A\rangle = \langle\psi|A|\psi\rangle$

Mówiąc inaczej: Mamy pełen zestaw ortogonalnych projektorów $P_i = |a_i\rangle\langle a_i|$ i dany wynik i zachodzi z prawdop. $p_i = \langle\psi|P_i|\psi\rangle = \mathrm{Tr}(P_i S)$
– Pomiar Borna.

Tym samym ewolucja $|\psi\rangle$ w mechanice kwantowej odbywa się na dwa sposoby

a) ciągła, deterministyczna ewolucja unitarna

zada przez rów. Schrödingera

$$\frac{d|\psi\rangle}{dt} = -\frac{i}{\hbar} H |\psi\rangle$$

b) nieciągła, probabilistyczna zmiana $|\psi\rangle$ do jednego ze stanów własnych $|a_i\rangle$ op. pomiarowego

Mamy do czynienia z pewnym „dualizmem"

Z pozoru sytuacja podobna do ewolucji rozkładów prawdopodobieństwa w fizyce klasycznej

$\rho(q_1 \dots q_r, p_1 \dots p_r)$ - gęstość rozkł. prawd., że cząstki znajdujemy się w poł. q_i i mają pędy p_i.

a) ewolucja zadana rów. Liouville

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\{\rho, H\}$$

b) „pomiar" uaktualnia rozkład prawdopodobieństwa „nieciągła zmiana naszej wiedzy.

Istotne różnice:

- W fiz. klasycznej ρ reprezentuje nasze niewiedzę w rzeczywistości wszystkie wielkości fizyczne układu są ustalone w każdej chwili czasu. Pomiar nie ma żadnego szczególnego statusu w teorii po prostu odczytanie (istniejących) parametrów układu

- W fiz. kwantowej dopiero pomiar określa o jakich własnościach fizycznych układu można mówić. Jeśli mówimy „położenie", „pęd" cząstki to nie mówimy o „własnościach cząstki" a o pewnych wzajemnie wykluczających się schematach pomiarowych. Pomiar - pojęciem pierwotnym teorii. Nie ale pomiar to... oddziaływanie układu z urządzeniem pomiarowym. Czy można w takim

z urządzeniem pomiarowym. Czy można w takim razie akt pomiaru opisać jako ewolucję układów kwantowych? I uniknąć dualizmu ;

Czy musimy zadowolić się

się tym, że liz. kw. pozwala przewidywać prawdopodobieństwa dla wielokrotnie powtarzanych eksperymentów typu:

przygotowanie układu $|\psi\rangle \to$ ewolucja $|\psi\rangle \to$ pomiar

nie ma sensu mówić co się dzieje z konkretnym układem w między czasie, traktować $|\psi\rangle$ jako narzędzie przewidywania prawdopodobieństw. Nie traktować $|\psi\rangle$ jako realnego stanu pojedynczego układu, który doznaje ewolucji i „coś się zmienia" do pola nie zmierzymy. Zjawisko kwantowe jest zamknięte nie jest sekwencją zjawisk fizycznych następujących po sobie.

1.2 „Pre-pomiar"

Urządzenie pomiarowe też opisujemy jako układ kwantowy i pozwolimy oddziaływać

$$\underset{\text{układ}}{|\psi\rangle_S}\,\underset{\text{urządzenie pomiarowe}}{|\xi\rangle_M} \xrightarrow{\mathcal{U}} |\Phi\rangle_{SM} \in \mathcal{H}_S \otimes \mathcal{H}_M$$

Ewolucję $\mathcal{U}$ będziemy nazywać „prepomiarem" jeśli istnieje baza $|a\rangle \in \mathcal{H}_S$ t. że:

$$|a\rangle \otimes |\xi\rangle \xrightarrow{\mathcal{U}_M} |a\rangle \otimes |\xi_a\rangle$$

$|\xi_a\rangle \in$ st ortogonalne $\in \mathcal{H}_M$ (wskazanie urządzenia pomiarowego)

Jeśli mierzymy ogólny stan na wejściu

$$|\psi\rangle \otimes |\xi\rangle = \sum_a c_a |a\rangle \otimes |\xi\rangle \xrightarrow{\mathcal{U}_M} \sum_a c_a |a\rangle \otimes |\xi_a\rangle = |\Phi_{SM}\rangle$$

Powstaje silna korelacja (splątanie) między urządzeniem pomiarowym a układem

Jeśli teraz patrzymy jedynie na podukład

$$\rho_S = \mathrm{Tr}_M\left(|\Phi_{SM}\rangle\langle\Phi_{SM}|\right) = \sum_a |c_a|^2 |a\rangle\langle a|$$

Wygląda jak klasyczna mieszanka stanów a, mamy by uznać że „przepomiar" zniszczył superpozycję, i uznać że problem zamknięty

Nie jest tak prosto – superpozycja wciąż istnieje

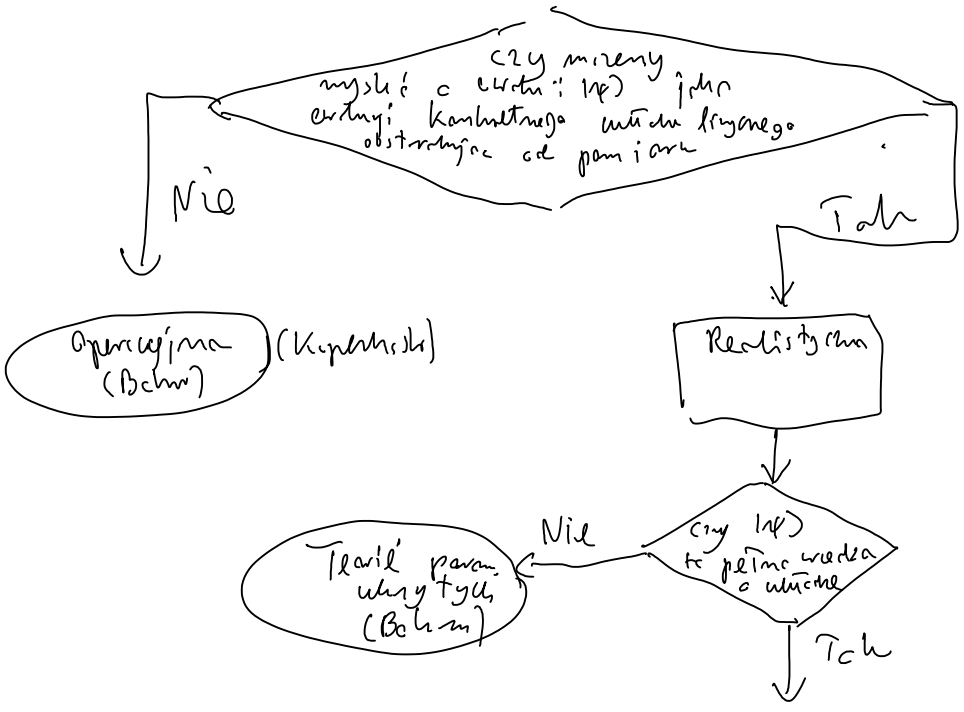
Skąd się bierze konkretny wynik pomiaru

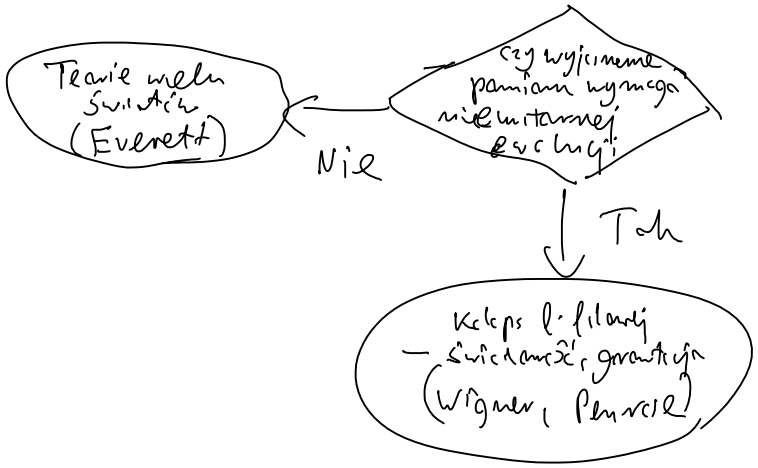
Na urządzenie pomiarowe „patrzy" obserwator:

$$\left(\sum_a c_a |a\rangle \otimes |\eta_a\rangle\right) \otimes |O\rangle \xrightarrow{M_O} \sum_a c_a |a\rangle \otimes |\eta_a\rangle \otimes |O_a\rangle$$

to oczywiście fundamentalnie nic nie zmieniono

1.3 Interpretacje





- Operacyjna (~Kopenhaska)

Funkcji falowej $|\psi\rangle$ nie należy traktować jako stanu układu, bez podania pełnej sytuacji pomiarowej

$|\psi\rangle$ - jest narzędziem pozwalającym przewidywać częstość zdarzeń przy wielokrotnie powtarzanym eksperymencie z taki samym przygotowaniem i pomiarem.

W tym sensie $|\psi\rangle$ przypisane jest raczej zbiorowi stanów przygotowanych w pewien sposób a nie pojedynczemu układowi.

Bez zdefiniowania pomiaru nie można się pytać co się właściwie dzieje z cząstką ...

Jeśli mówimy „położenie", „pęd", nie mówimy o własnościach cząstki, lecz o pewnych schematach pomiarowych.

Pojęcie pomiaru jest pojęciem pierwotnym w teorii i jego opis nie mieści się w teorii

- Realistyczna

a) teoria parametrów ukrytych, gdzie f. falowa to tylko nie kompletny opis rzeczywistości.

To by było też teoria realistyczna, a f. falowa wynikałaby z naszego niedoskonałego opisu - br. wiedzy o układzie

b) Funkcja falowa daje pełny opis i jest sens mówić o stanie pojedynczego układu kwantowego, „To cząstka ma taki stan polaryzacyjny, taka f. falowa ..." bez mówienia od razu o całej sytuacji eksperymentalnej.

Ewolucja f. falowej - coś realnego, realny process

Kolaps f. falowej $|\psi\rangle \to |a_i\rangle$ wymaga wyjaśnienia, jako pewne oddziaływanie układu z urządzeniem pomiarowym (które też jest kwantowe)

Problem - ewolucja unitarna nie da się wyjaśnić tego, że wychodzi jeden konkretny wynik.. (dekoherencja nie wystarczy)

Pomiar musiałby być rządzony inną dynamiką

- wpływ świadomości (Wigner, Penrose) (wyjątkowa rola świadomości - dopiero ona kolapsuje f. falową
- grawitacja, kwantowa natura czasoprzestrzeni - większe obiekty kolapsują do pewnych wybranych stanów

c) Wiele światów (światopoglądów) Everett

Standardową interpretację możemy określić jako:
„external observation" of QM

Możemy zrezygnować z postulatu pomiarowego i w pewnym sensie go wyprowadzić.

Teorię „Relative state formulation" można traktować

jak meta teorie Mechaniki Kwantowej.

Pomiar = oddziaływanie układu z urządzeniem pomiarowym

$$|a\rangle|\eta_{[\dots]}\rangle \xrightarrow{U_M} |a\rangle|\eta_{[\dots a]}\rangle$$

dla dowolnego stanu:

$$|\psi\rangle|\eta_{[\dots]}\rangle \xrightarrow{U_M} \sum_a c_a |a\rangle |\eta_{[\dots a]}\rangle$$

„pamięć urządzenia pomiarowego"

$$c_a = \langle a|\psi\rangle$$

Oddziaływanie wyróżnia nam pewną bazę

Normalnie powiedzieliśmy, że „w momencie" odczytania wyniku zostaje tylko jedna „gałąź" ale tutaj pozostawiamy wszystko

Pomiar dwukrotny.

$$\sum_a c_a|a\rangle|\eta_{[\dots a]}\rangle \longrightarrow \sum_a c_a|a\rangle|\eta_{[\dots a a]}\rangle$$

Wynik ten sam.

„Pomiar" na wielu takich samych układach

$$|\psi_1\rangle \dots |\psi_N\rangle|\eta_{[\dots]}\rangle \xrightarrow{M_1}$$

$$\longrightarrow \left(\sum_{a_1} c_{a_1}|a_1\rangle\ |\psi_2\rangle \dots |\psi_N\rangle\ |\eta_{[\dots a_1^{(1)}]}\rangle\right) \longrightarrow$$

$$\xrightarrow{M_2} \left(\sum_{a_1,a_2} c_{a_1} c_{a_2} |a_1\rangle|a_2\rangle \dots |\psi_N\rangle\ |\eta_{[\dots a_1^{(1)} a_2^{(2)}]}\rangle\right) \dots$$

Nie ma nigdy kolapsu, oddziaływania powodują ciągłe rozszczepianie superpozycji.

„Urządzenia pomiarowe" to zwykłe układy kwantowe skorelowane z innymi w pewien wyjątkowy sposób

Różne trajektorie („równe historie wszechświata)

Przy kubie pow $\to \infty$ istotny układ daje tylko zdarzenia typowe

My jesteśmy obserwatorem w typowej gałęzi...

$$p_{a_1 \dots a_N} = p_{a_1} \cdot \ldots \cdot p_{a_N}$$

Ciekawym przytoczeniem jest przygotowanie układu:

= skorelowanie go ze sobą w chwili początkowej pierwszym pomiarem – wtedy ustalony „startowa gałąź" i potrzeba na jej ewolucję.

Obserwator w jednej gałęzi nie zauważa obecności innych gałęzi!

Istnieje tylko unitarna ewolucja f. falowej

Istnieją inne „moje świadomości" rejestrujące inne „wyniki".

1.3

Ogólna mądrość:

Głębia mech. kwantowej (Mistycyzm)

– odchodzi od „świata tam na zewnątrz" do „świata odniesionego do obserwatora"

(pierwszy krok już zrobiło teoria względności czas, przestrzeń, tutaj robimy kolejny ...)

Świat obserwujemy od środka!