〈量子力学における測定〉

§測定の規則 → これで実験結果を問題なく再現・予言できる!

$\hat{A}$ 自己共役演算子

簡単のため

スペクトル集合 $\mathrm{spec}(\hat{A})=\{a_1, a_2, \cdots\}$ の要素はすべて固有値 ($j \neq j'$ なら $a_j \neq a_{j'}$)

固有値 a_j　固有状態 $|\psi_j\rangle$　$\|\psi_j\| = 1$

$|\varphi\rangle$ 任意の規格化された状態

(1) $|\varphi\rangle = \sum_{j=1}^{\infty} \alpha_j |\psi_j\rangle$ と展開　$\alpha_j = \langle \psi_j | \varphi \rangle$

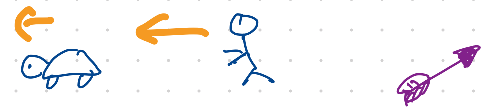
状態 $|\varphi\rangle$ において $\hat{A}$ を測定すると確率 $P_j = |\alpha_j|^2$ で測定結果 a_j が得られる。 ⇒ 物理の基本法則に確率が!

Sch. eq. による状態の変化は連続

↕

測定後の状態は $|\psi_j\rangle$ になる。 ⇒ 状態の不連続な変化!

§ 量子ゼノン効果



□ ゼノン (BC 490?〜430?) 古代ギリシャの哲学者

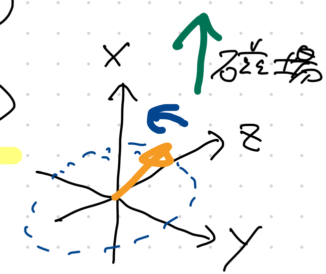
運動の不可能性 「アキレスとかめ」「飛んでいる矢は止まっている」

□ 量子ゼノン効果 測定によって状態の時間変化が抑制される。!?

例 磁場中のスピン (1) $\hat{H} = -\omega \hat{S}_x$ ($\omega \neq 0$ は定数)

Sch. eq. の解 (2) $|\psi(t)\rangle = \cos\frac{\omega}{2}t\,|\uparrow\rangle + i\sin\frac{\omega}{2}t\,|\downarrow\rangle$

yz面内での回転運動.



(3) $|\psi(0)\rangle = |\uparrow\rangle$ 時刻 0 で z方向上向き

時刻 $\Delta t > 0$ で $\hat{S}_z$ を測定

$$\begin{cases} \text{確率 } \left(\cos\frac{\omega}{2}\Delta t\right)^2 \text{ で } \uparrow \text{ を得る} \longrightarrow \text{測定後の状態 } |\uparrow\rangle \\ \text{確率 } \left(\sin\frac{\omega}{2}\Delta t\right)^2 \text{ で } \downarrow \text{ を得る} \longrightarrow \text{測定後の状態 } |\downarrow\rangle \end{cases}$$

- 時刻 δt で $\hat{S}_z$ を測定

  確率 $\left(\cos\frac{\omega}{2}\delta t\right)^2$ で $\uparrow \rightarrow |\uparrow\rangle$ OR 確率 $\left(\sin\frac{\omega}{2}\delta t\right)^2$ で $\downarrow \rightarrow |\downarrow\rangle$ $\Rightarrow$ やめ

  初期状態にリセット！

$\Downarrow$

- 時刻 $2\delta t$ で $\hat{S}_z$ を測定

  確率 $\left(\cos\frac{\omega}{2}\delta t\right)^2$ で $\uparrow \rightarrow |\uparrow\rangle$ OR 確率 $\left(\sin\frac{\omega}{2}\delta t\right)^2$ で $\downarrow \rightarrow |\downarrow\rangle$ $\Rightarrow$ やめ

$\Downarrow$

- 時刻 $3\delta t$ で $\hat{S}_z$ を測定

  確率 $\left(\cos\frac{\omega}{2}\delta t\right)^2$ で $\uparrow \rightarrow |\uparrow\rangle$ OR 確率 $\left(\sin\frac{\omega}{2}\delta t\right)^2$ で $\downarrow \rightarrow |\downarrow\rangle$ $\Rightarrow$ やめ

$\Downarrow$

⋮

時刻 $t = N\delta t$ までずっと $\uparrow$ が測定されつづける確率

(1) $$P(t) = \left(\cos\frac{\omega t}{2N}\right)^{2N} = \left(1 - \frac{(\omega t)^2}{8N^2} + O(N^{-4})\right)^{2N} \longrightarrow \boxed{1}$$

$\Uparrow$

t を固定して $N \nearrow \infty$ $(\delta t \searrow 0)$

時刻 $t = N\Delta t$ までずっと ↑ が測定されつづける確率

(1) $\boxed{P(t) \longrightarrow 1}$

⇑

t を固定して $N \to \infty$ $(\Delta t \downarrow 0)$

ずっと見ていると状態は変化しない!? → 見てる間はナベは吹きこぼれない!?

⇓

$\boxed{\text{「測定」は単に「見ている」こととは本質的にちがう}}$

§測定とエネルギー

単に「見ている」のではない！

測定には一般にはエネルギーが必要

△スピンの例　ハミルトニアン　(1) $\hat{H} = -\frac{2\epsilon}{\hbar}\hat{S}_z$　($\epsilon > 0$ は定数)

基底状態 $|\uparrow\rangle$　基底エネルギー $-\epsilon$

$|\uparrow\rangle$ で $\hat{S}_x$ を測定 → 測定後の状態 $|\rightarrow\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle\}$, $|\leftarrow\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle - |\downarrow\rangle\}$

測定後のエネルギー期待値

(2) $\langle\rightarrow|\hat{H}|\rightarrow\rangle = \frac{1}{2}\{\langle\uparrow| + \langle\downarrow|\}\hat{H}\{|\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle\}$

$= \frac{1}{2}\{\langle\uparrow|\hat{H}|\uparrow\rangle + \langle\downarrow|\hat{H}|\downarrow\rangle\} = 0$

(3) $\langle\leftarrow|\hat{H}|\leftarrow\rangle = 0$

測定にはスピンひとつあたり平均で ϵ のエネルギーが必要

例 粒子の例 井戸型ポテンシャル中の粒子.

(1) $\hat{H} = \dfrac{\hat{p}^2}{2m} + V(\hat{x})$　(2) $V(x) = \begin{cases} 0 & |x| \leq a \\ V_0 & |x| > a \end{cases}$

(3) $E_{GS} \simeq \dfrac{\pi^2 \hbar^2}{8ma^2} \ll V_0$ とする.

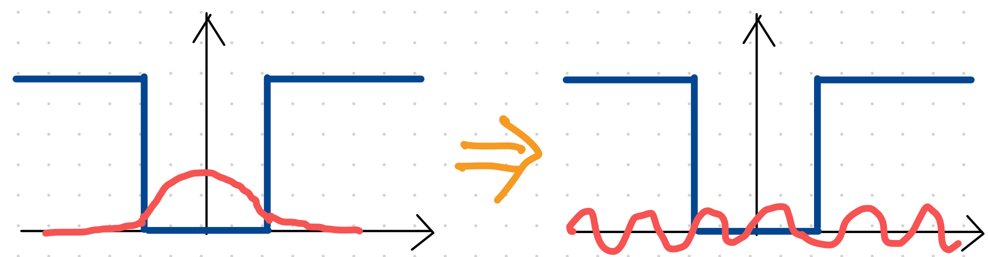
基底状態で 運動量 $\hat{p}$ を測定.

正確には長い波束

測定後の状態 (4) $|\psi_p\rangle \simeq \mathrm{const.}\, e^{i\frac{p}{\hbar}x}$

測定後のエネルギー期待値 (5) $\langle \psi_p | \hat{H} | \psi_p \rangle \simeq \dfrac{p^2}{2m} + V_0 \gg E_{GS}$

測定には最低でも
ほぼ V_0 のエネルギーが必要



§ 測定器の役割

測定の規則

$|\rightarrow\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle\}$ で $\hat{S}_z$ を測定 → 確率$\frac{1}{2}$で ↑ or ↓

しかし われわれはスピンを直接「見る」のではなく測定器を通じてスピン状態を測る

△ 測定器　スピンの状態に応じて状態を大きく変化させる量子系。

(1) $|\uparrow\rangle|\Phi_0\rangle \xrightarrow[\text{Sch. eq.}]{} |\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle$　　$|\downarrow\rangle|\Phi_0\rangle \xrightarrow[\text{Sch. eq.}]{} |\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle$

われわれにも違いがわかる

測定器に $|\rightarrow\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle\}$ をいれる。

(2) $|\rightarrow\rangle|\Phi_0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\Phi_0\rangle + |\downarrow\rangle|\Phi_0\rangle\} \xrightarrow[\text{線形性}]{\text{Sch. eq.}} \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle\}$

- スピンと測定器が相互作用し、両者の状態がエンタングルした!
- このエンタングルメントが生じた時点で測定の物理的プロセスは終了

状態 $\frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle\}$ で測定器の状態を(われわれが)測定

$\downarrow$ = 測定の規則

- 確率 $\frac{1}{2}$　測定器の表示 up　測定後の状態　$|\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle$
- 確率 $\frac{1}{2}$　測定器の表示 down　測定後の状態　$|\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle$

これがスピンの測定

• 測定の物理的プロセスが終了したところで「測定の規則」を使えばいい。

もっと複雑にもできる

(1)　$|\rightarrow\rangle|\Phi_0\rangle|\Psi_0\rangle \xrightarrow{\text{Sch.eq.}} \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle\}|\Psi_0\rangle$　①

$|\Phi_0\rangle$：測定器　$|\Psi_0\rangle$：表示装置

$\xrightarrow{\text{Sch.eq.}} \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle|\Psi_\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle|\Psi_\downarrow\rangle\}$　②

$\xrightarrow{\text{測定の規則}} |\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle|\Psi_\uparrow\rangle$ OR $|\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle|\Psi_\downarrow\rangle$

測定の規則を①で使っても②で使っても結果は同じ

スピンと他の量子系がエンタングルすれば測定の物理的プロセスは終了？

§ 問題点と一応の解決：「安定したマクロな状態」

問題点 1

前回のP9の時間発展

$|\uparrow\rangle_1|\uparrow\rangle_2 \to |\uparrow\rangle_1|\uparrow\rangle_2$, $|\uparrow\rangle_1|\downarrow\rangle_2 \to |\uparrow\rangle_1|\downarrow\rangle_2$
$|\downarrow\rangle_1|\uparrow\rangle_2 \to |\downarrow\rangle_1|\downarrow\rangle_2$, $|\downarrow\rangle_1|\downarrow\rangle_2 \to |\downarrow\rangle_1|\uparrow\rangle_2$

(1) $|\rightarrow\rangle_1|\uparrow\rangle_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle_1 + |\downarrow\rangle_1\}|\uparrow\rangle_2$

$$\to \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle_1|\uparrow\rangle_2 + |\downarrow\rangle_1|\downarrow\rangle_2\}$$

スピン1とスピン2がエンタングルした → 測定の物理プロセスは終る？

測定の規則を使って確率$\frac{1}{2}$で$|\uparrow\rangle_1|\uparrow\rangle_2$ OR $|\downarrow\rangle_1|\downarrow\rangle_2$ としてよい？

再び同じ時間発展

(2) $\frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle_1|\uparrow\rangle_2 + |\downarrow\rangle_1|\downarrow\rangle_2\} \to \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle_1|\uparrow\rangle_2 + |\downarrow\rangle_1|\uparrow\rangle_2\}$

$$= |\rightarrow\rangle_1|\uparrow\rangle_2$$

エンタングルメントが解けてしまった!! ⇒ これはダメだった!!

一般に (1) $|\rightarrow\rangle|\Phi_0\rangle \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}\left\{|\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle\right\}$

という時間発展が可能ならば

(2) $\frac{1}{\sqrt{2}}\left\{|\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle\right\} \rightarrow |\rightarrow\rangle|\Phi_0\rangle$

という時間発展も可能なはず

測定器とスピンがエンタングルしただけでは測定の物理的プロセスは終了しない？

また測定の規則を使ってはいけないのか？

問題点 2

スピンと測定器がエンタングルした状態

(1) $|\Xi_{ent.}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left\{|\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle\right\}$

(2) $|\uparrow\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left\{|\rightarrow\rangle + |\leftarrow\rangle\right\}$, $|\downarrow\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left\{|\rightarrow\rangle - |\leftarrow\rangle\right\}$ を代入して整理

(3) $|\Xi_{ent.}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left\{|\rightarrow\rangle|\Phi_+\rangle + |\leftarrow\rangle|\Phi_-\rangle\right\}$

$\left((4)\ |\Phi_+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left\{|\Phi_\uparrow\rangle + |\Phi_\downarrow\rangle\right\},\ |\Phi_-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left\{|\Phi_\uparrow\rangle - |\Phi_\downarrow\rangle\right\} \right)$

この形で測定の規則を使うと

確率 $\frac{1}{2}$ で $|\rightarrow\rangle|\Phi_+\rangle$ OR $|\leftarrow\rangle|\Phi_-\rangle$??

話がまったくちがう...

III 安定したマクロな状態（「問題点2」について）

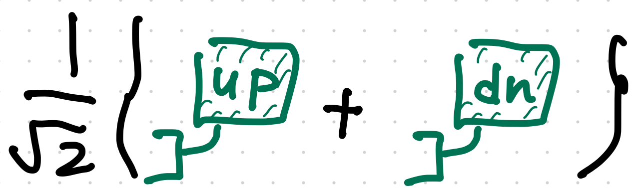
(1) $|\Xi_{ent}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle\}$

(2) $|\Xi_{ent}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\rightarrow\rangle|\Phi_+\rangle + |\leftarrow\rangle|\Phi_-\rangle\}$

$|\Phi_\uparrow\rangle$, $|\Phi_\downarrow\rangle$ が測定器の「表示」が定まった状態なら

$|\Phi_\pm\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\Phi_\uparrow\rangle \pm |\Phi_\downarrow\rangle\}$ は マクロに異った状態の重ね合わせ

→「Schrödingerの猫」



= 「古典的な世界」

経験則 われわれが目にするマクロ系の状態は安定している。

マクロな量、特徴はゆらがない。

$|\Phi_\uparrow\rangle$, $|\Phi_\downarrow\rangle$ は安定したマクロな状態。$|\Phi_+\rangle$, $|\Phi_-\rangle$ はそうではない。

(1)には測定に関して「意味」があるが、(2)にはない（のだろう）

▷ マクロな系における不可逆性（「問題点1」について）

(1) $|\rightarrow\rangle|\Phi_0\rangle \xrightarrow{\text{Sch. eq.}} \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle\}$ が可能なら

(2) $\frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle\} \xrightarrow{\text{Sch. eq.}} |\rightarrow\rangle|\Phi_0\rangle$

という時間発展も原理的には可能

しかし大自由度の系では逆向きの時間発展を実現するのは
実質的に不可能　（古典系でも量子系でも）

測定器が十分に大きければ、(2)の時間発展の可能性は無視できる

$\frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle\}$ という状態が生まれれば
測定の物理的プロセスは終了する。
そうすれば、「測定の規則」を使ってよい（だろう）

異なった安定したマクロな状態

§ 安定したマクロな状態の連鎖 → 測定についての(たぶん)もっとも標準的な立場

$$\underbrace{|\rightarrow\rangle}_{\text{ミクロな系}}\underbrace{|\psi_0\rangle|\psi'_0\rangle|\Phi_0\rangle|\Phi'_0\rangle|\Xi_0\rangle}_{\text{マクロな装置}} \quad ①$$

$$\xrightarrow{\text{Sch. eq.}} \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\psi_\uparrow\rangle+|\downarrow\rangle|\psi_\downarrow\rangle\}|\psi'_0\rangle|\Phi_0\rangle|\Phi'_0\rangle|\Xi_0\rangle \quad ②$$

$$\xrightarrow{\text{Sch. eq.}} \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\psi_\uparrow\rangle|\psi'_\uparrow\rangle+|\downarrow\rangle|\psi_\downarrow\rangle|\psi'_\downarrow\rangle\}|\Phi_0\rangle|\Phi'_0\rangle|\Xi_0\rangle \quad ③$$

$$\xrightarrow{\text{Sch. eq.}} \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\psi_\uparrow\rangle|\psi'_\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle+|\downarrow\rangle|\psi_\downarrow\rangle|\psi'_\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle\}|\Phi'_0\rangle|\Xi_0\rangle \quad ④$$

$$\xrightarrow{\text{Sch. eq.}} \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\psi_\uparrow\rangle|\psi'_\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle|\Phi'_\uparrow\rangle+|\downarrow\rangle|\psi_\downarrow\rangle|\psi'_\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle|\Phi'_\downarrow\rangle\}|\Xi_0\rangle \quad ⑤$$

$$\xrightarrow{\text{Sch. eq.}} \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\psi_\uparrow\rangle|\psi'_\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle|\Phi'_\uparrow\rangle|\Xi_\uparrow\rangle+|\downarrow\rangle|\psi_\downarrow\rangle|\psi'_\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle|\Phi'_\downarrow\rangle|\Xi_\downarrow\rangle\} \quad ⑥$$

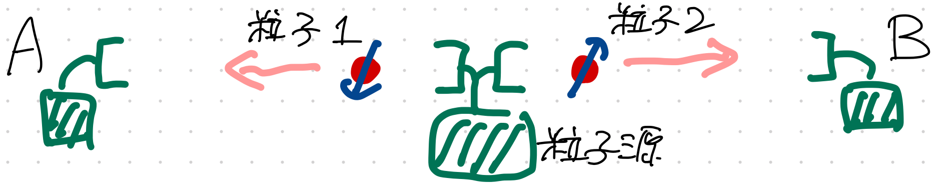
④でスピン状態がマクロな系の安定な状態とエンタングルした(測定のプロセス終了)

④→⑤→⑥でマクロな系の安定した状態の連鎖がつくられていく(古典的な世界)

④,⑤,⑥のどこで「測定の規則」を使ってもよい。

▷ Alice と Bob への応用

$|\Phi_0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle_1|\downarrow\rangle_2 - |\downarrow\rangle_1|\uparrow\rangle_2\}$　Aがスピン1の$\hat{S}_z$，Bがスピン2の$\hat{S}_z$を測定



初期条件　$|\Phi_0\rangle|A_0\rangle|B_0\rangle$

Aの測定器　　Bの測定器

考え方1

$$|\Phi_0\rangle|A_0\rangle|B_0\rangle \xrightarrow[\text{Sch.eq.}]{\text{Aが測定}} \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\downarrow\rangle|A_\uparrow\rangle - |\downarrow\rangle|\uparrow\rangle|A_\downarrow\rangle\}|B_0\rangle$$

測定の規則をつかう

$$\longrightarrow \begin{cases} \text{確率}\frac{1}{2}\text{で}\quad |\uparrow\rangle|\downarrow\rangle|A_\uparrow\rangle|B_0\rangle \xrightarrow[\text{Sch.eq.}]{\text{Bが測定}} |\uparrow\rangle|\downarrow\rangle|A_\uparrow\rangle|B_\downarrow\rangle \\ \text{確率}\frac{1}{2}\text{で}\quad |\downarrow\rangle|\uparrow\rangle|A_\downarrow\rangle|B_0\rangle \xrightarrow{\text{Sch.eq.}} |\downarrow\rangle|\uparrow\rangle|A_\downarrow\rangle|B_\uparrow\rangle \end{cases}$$

考え方2

Aが測定

$$|\Psi_0\rangle|A_0\rangle|B_0\rangle \xrightarrow{\text{Sch.eq.}} \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\downarrow\rangle|A_\uparrow\rangle - |\downarrow\rangle|\uparrow\rangle|A_\downarrow\rangle\}|B_0\rangle$$

Bが測定

$$\xrightarrow{\text{Sch.eq.}} \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\downarrow\rangle|A_\uparrow\rangle|B_\downarrow\rangle - |\downarrow\rangle|\uparrow\rangle|A_\downarrow\rangle|B_\uparrow\rangle\} \quad ☆$$

測定の規則をつかう

$$\rightarrow \begin{cases} \text{確率}\frac{1}{2}\text{で } |\uparrow\rangle|\downarrow\rangle|A_\uparrow\rangle|B_\downarrow\rangle \\ \text{確率}\frac{1}{2}\text{で } |\downarrow\rangle|\uparrow\rangle|A_\downarrow\rangle|B_\uparrow\rangle \end{cases}$$

- どちらの「考え方」でも最終的な結果は完全に同じ
- Bが先に測定しAが後に測定した場合も「考え方2」の☆の状態は同じ

→ どちらが先と思っても かまわない!

§ いくつかの問題点

▷「安定したマクロな状態」とは何か？

われわれはしっかりとした「古典的な世界」を経験する.

「古典的な状態」≃「安定したマクロな状態」が存在するのは確実.

しかし, それを量子力学の中で, どう厳密に定式化するのか？

一般に定式化するのはすごくむずかしい

▷ ミクロとマクロの境目は決まっているのか？

マクロな系では

$$(1)\quad \frac{1}{\sqrt{2}}\{|\uparrow\rangle|\Xi_\uparrow\rangle+|\downarrow\rangle|\Xi_\downarrow\rangle\} \xrightarrow{\text{Schr.}} |\rightarrow\rangle|\Xi_0\rangle$$

という時間発展は実際問題として不可能

しかし, 時間発展が可能／不可能は技術に依存する.

ミクロとマクロの間に明確な区別はあるのか？

たぶん, ない

これらは大自由度の量子系のふるまいについての困難な問題

▷「測定の規則」を使わないですませられないのか?

(1) スピン 測定器 あなた

$$|\rightarrow\rangle|\Phi_0\rangle|\Phi_0\rangle \xrightarrow{\text{Sch. eq.}} \frac{1}{\sqrt{2}}\left\{|\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle\right\}$$

「up」という表示を見たあなた　　「down」という表示を見たあなた

(2) スピン1 スピン2 測定器1 測定器2 あなた

$$|\rightarrow\rangle|\rightarrow\rangle|\Phi_0\rangle|\Phi'_0\rangle|\Phi_0\rangle$$

$$\xrightarrow{\text{Sch. eq.}} \frac{1}{2}\left\{|\uparrow\rangle|\uparrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle|\Phi'_\uparrow\rangle|\Phi_{\uparrow\uparrow}\rangle + |\uparrow\rangle|\downarrow\rangle|\Phi_\uparrow\rangle|\Phi'_\downarrow\rangle|\Phi_{\uparrow\downarrow}\rangle + |\downarrow\rangle|\uparrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle|\Phi'_\uparrow\rangle|\Phi_{\downarrow\uparrow}\rangle + |\downarrow\rangle|\downarrow\rangle|\Phi_\downarrow\rangle|\Phi'_\downarrow\rangle|\Phi_{\downarrow\downarrow}\rangle\right\}$$

状態は重ね合わせに分岐していくが各々のブランチであなたはいずれかの実験結果を経験する（多世界解釈）

- 「安定したマクロな状態の連鎖」を認めればほぼあたりまえの考え（だと思う）
- こう考えることでなにか問題が解決するわけではない（と思う）