

Kvantum dekoherencia: jelenség és koncepció, áldás és átok

Diósi Lajos (MTA-RMKI)

A kvantumrendszerek koherens viselkedése, például környezeti hatások miatt, a valóságban mindig sérül. Ezt hívjuk dekoherenciának. A tagadó megnevezés ellenére a dekoherencia a kvantumelmélet egyik tartóoszlopa. Maga a jelenség egyrészt szolgálja a kvantumfizika gyakorlati alkalmazhatóságát, másrészt határt szab neki (ezért nincs még működő kvantumszámítógép).

Mi a dekoherencia elméleti szerepe a kvantumállapot statisztikus értelmezésében, és mi a valóságos szerepe a makroszkopikus jelenségek kialakulásában? És mindenekfelett: milyen mozgásegyenletek írják le a dekoherencia időbeli folyamatát? Erről szól az előadás első része, ahol a dekoherens – másszóval irreverzibilis – kvantumrendszerek kvantum-Monte-Carlo szimulációját is megismerjük, mely éppen a dekoherenciából meríti jó tulajdonságait.

Lehet-e az atomnál sokkal nagyobb tömegű testek környezeti dekoherenciáját pontos kísérletekkel visszaszorítani? Lehet-e kísérletekkel vizsgálni az univerzális, tehát nem környezeti dekoherencia létezését? Az előadás második része élő, nanofizikai, kozmológiai, vagy kozmikus neutrínós kísérleti javaslatokat ismertet, melyek megcélozták az előadó húsz éve között univerzális dekoherencia-egyenletét is.

Szemléltetjük, hogy a fizika alapjainak kutatása, ha kerüli a doktrinerséget, értékes eredményekre vezethet a feltett alapkérdések határvidékén is.

- **A dekoherencia**
- **A kvantumelmélet tartóoszlopa**
- **A klasszikus jelenségek létrehozója**
- **Alapdinamikája: a Brown mozgás**
- **1 alkalmazása: kvantum-klasszikus átmenet**
- **Kísérleti visszaszorítása nano-objektumon?**
- **Észlelése kozmikus neutrínón?**
- **A kutatás moralitásai**

A dekoherencia

„klasszikus” = „nem kvantumos”

„dekoherencia” = „koherencia-vesztés, fázisvesztés”

Klasszikus áldás: olcsó a zene meg a lámpa, mert a hangérzet, a fényérzet fázisfüggetlen. Klasszikus átok: a dekoherencia rontja a leképezést, a rádióvételt. a szívritmust, ...

A Schrödinger egyenlet abszolút lineáris, honnan jön akkor a kvantum dekoherencia? Ugyanonnan, mint a klasszikus: zajból, ahol „zaj” = „kontrollálatlan környezeti kölcsönhatás” (Zeh 1970’, Wigner, Zurek 1980’).

HOGYAN LEHET EGY „ZAJ” A KVANTUM-ELMÉLET TARTÓOSZLOPA?

A kvantumelmélet tartóoszlopa

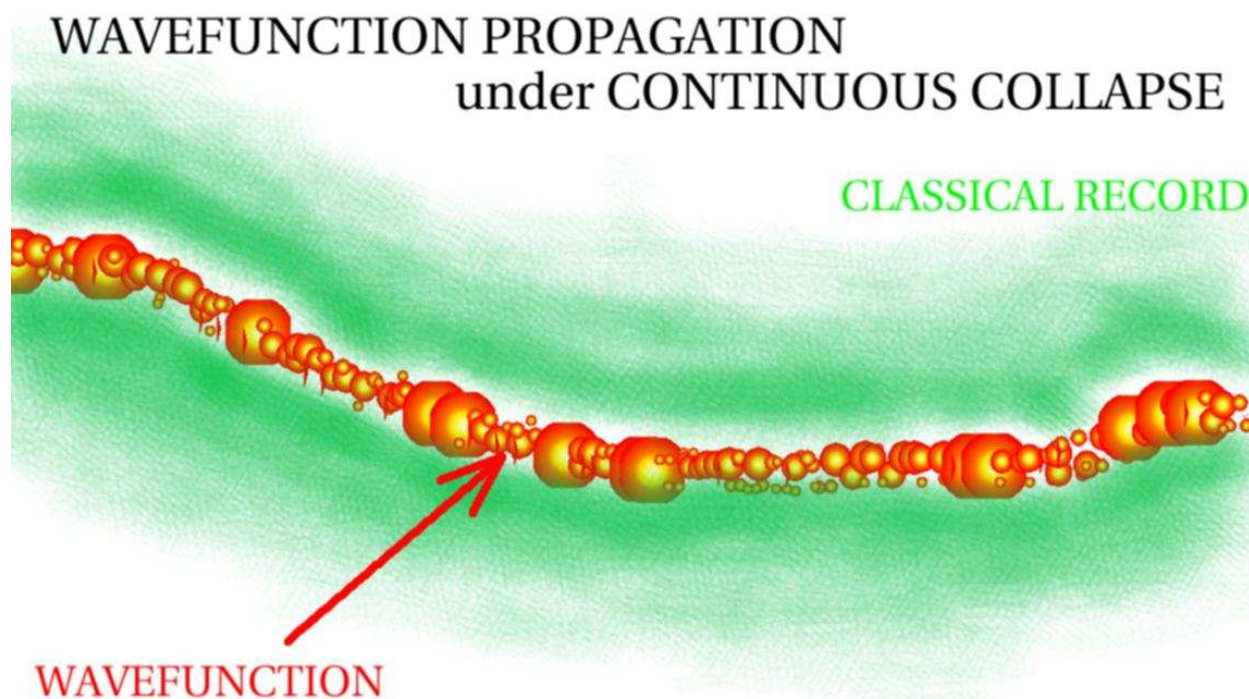
Adott $|\psi\rangle$ ill. $\psi(x)$! Hol a részecske? Balra ($x < 0$), vagy jobbra ($x > 0$)? A keresett „klasszikus adat”: L vagy R .

$$\begin{aligned}
 \hat{\rho} &\equiv \rho(x, x') = \psi(x)\psi^*(x') = \\
 &= \left[\begin{array}{c|c} x, x' < 0 & \text{interf} \\ \hline \text{interf} & x, x' > 0 \end{array} \right] \longrightarrow \left[\begin{array}{c|c} x, x' < 0 & 0 \\ \hline 0 & x, x' > 0 \end{array} \right] = \\
 &= w_L \left[\begin{array}{c|c} x, x' < 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 \end{array} \right] + w_R \left[\begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ \hline 0 & x, x' > 0 \end{array} \right] \\
 &\equiv w_L \psi_L(x)\psi_L^*(x') + w_R \psi_R(x)\psi_R^*(x')
 \end{aligned}$$

Az interferencia tagok eltünése, a „dekoherencia” teszi lehetővé a statisztikus értelmezést: a részecske w_L valószínűséggel most már balra van, és w_R -rel jobbra van, ez a kiválasztódás a hullámfüggvény „kollapszusa”.

ÉS HOGYAN TÖRTÉNIK A VALÓSÁGBAN?

A klasszikus jelenségek létrehozója



Ha egy kvantum-objektum nem izolálható a környezetétől, a kontrollálatlan környezeti kölcsönhatás a test hullámfüggvényében állandó dekoherenciát okoz, ami a hullámfüggvényét lokalizálja. A klasszikus adat: \bar{x} helykoordináta. A fenomenológia:

$$d\hat{q}/dt = -i[\hat{H}, \hat{q}] - D[\hat{x}, [\hat{x}, \hat{q}]] + \sqrt{2D}W\{\hat{x} - \langle \hat{x} \rangle, \hat{q}\}$$

$$\bar{x} = \langle \hat{x} \rangle + \frac{1}{\sqrt{8D}}W; \quad \overline{W}_t = 0, \quad \overline{W}_t \overline{W}_{t'} = \delta(t - t')$$

1988

MI A FOLYAMAT ISMERT FIZIKÁJA? ÉS MILYEN LEHET A MÉG ISMERETLEN FIZIKÁJA?

Környezeti dekoherencia: Brown-mozgás

A klasszikus Fokker-Planck egyenlet, alatta pedig kvantumoz megfelelője:

$$d\rho/dt = \{H, \rho\} + D\partial_p^2\rho + \gamma\partial_x p\rho$$

$$d\hat{\rho}/dt = -i[\hat{H}, \hat{\rho}] - D[\hat{x}, [\hat{x}, \hat{\rho}]] - \frac{1}{2}i\gamma[\hat{x}, \{\hat{p}, \hat{\rho}\}] - D'[\hat{p}, [\hat{p}, \hat{\rho}]] \quad 1993$$

Ez a környezeti dekoherencia fizikai egyenlete, amely a környező „gázzal” való kölcsönhatásból levezethető. Hogyan kapható meg a „kollapszust” leíró W-tag?

A „nem-környezeti dekoherencia” egyenletei is csak ugyanilyen típusúak lehetnek! Miért spekulálunk nem-környezeti eredetű dekoherenciáról?

KÍSÉRLETEK? MÉG ELŐBB PSZEUDÓ-KÍSÉRLETEK: KVANTUM-MONTE-CARLO!

Kvantum-MC irreverzibilis dinamikákra

$$d\hat{\rho}/dt = -i[\hat{H}, \hat{\rho}] - D[\hat{x}, [\hat{x}, \hat{\rho}]]$$

A naiv lineáris kvantum-Langevin egyenlet, numerikus szimulációja pokolian instabil:

$$d|\psi\rangle/dt = -i\hat{H}|\psi\rangle - iW\sqrt{2D}\hat{x}|\psi\rangle$$

A nem-lineáris kvantum-Langevin egyenlet:

$$d|\psi\rangle/dt = -i\hat{H}|\psi\rangle - D(\hat{x} - \langle\hat{x}\rangle)^2|\psi\rangle - W\sqrt{2D}(\hat{x} - \langle\hat{x}\rangle)|\psi\rangle$$

1988

melynek szimulációja stabil és gyors. Ok: keveset/semmit sem bíbelődik azokkal az interferencia-tagokkal, melyeket a dekoherencia amúgy elnyom/kiöl.

EGY ALKALMAZÁS: KVANTUM-KLASSZIKUS ÁTMENET, KÁOSZ

Kvantum-klasszikus átmenet, káosz

cf. PRL 96 010403 (2006)

Kísérleti visszaszorítása nano-objektumon?

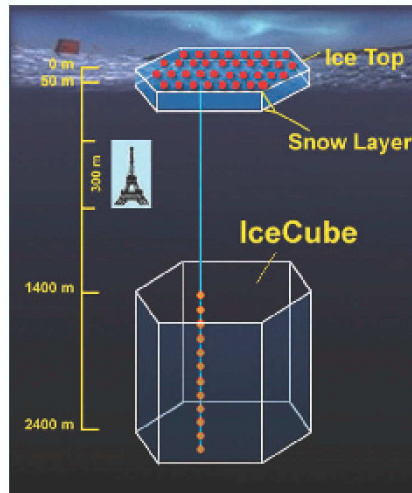
cf. PRL 91 130401 (2003)

Észlelése kozmikus neutrínón?

cf. PRL 95 160403 (2005)



KOZMIKUS NEUTRINÓK?



VAGY NANO-OSZCILLÁTOR?

