

EPR Paradoksas

Julius Ruseckas

Vilniaus universiteto Teorinės fizikos ir astronomijos institutas

Sausio 9, 2012

Apie ką kalbėsime

Tema

Koreliacijos klasikinėje ir kvantinėje fizikoje.

Dviejų dydžių x ir y koreliacija

$$\rho = \langle (x - \langle x \rangle)(y - \langle y \rangle) \rangle$$

Apie ką kalbėsime

Tema

Koreliacijos klasikinėje ir kvantinėje fizikoje.

Dviejų dydžių x ir y koreliacija

$$\rho = \langle (x - \langle x \rangle)(y - \langle y \rangle) \rangle$$

Tikimybinis aprašymas klasikinėje fizikoje

- ▶ Ir klasikinėje fizikoje naudosime tikimybinį aprašymą
- ▶ Tikimybės klasikinėje fizikoje atsiranda tik dėl pradinių sąlygų neapibrėžtumo

Kaip išmatuoti koreliaciją

- ▶ Turime sistemų ansamblių
- ▶ Kiekvienai sistemai išmatuoti dydžius x ir y
- ▶ Perduoti juos į kompiuterį
- ▶ Taip padaryti daug kartų, kiekvienai ansamblio sistemai
- ▶ Kompiuteryje suskaičiuoti sandaugos vidurkį

Kaip koreliacija atsiranda

- ▶ Koreliacija tiek klasiknėje, tiek kvantinėje fizikoje atsiranda sąveikos metu
- ▶ Po sąveikos daleles galime atskirti ir nutolinti viena nuo kitos
- ▶ Jei atskyrimo ir nutolinimo metu dalelės nesutrikdomos, koreliacija išlieka. Tas galioja tiek klasikinėje, tiek kvantinėje fizikoje.

Dvi klasikinės dalelės



Ekspierimentas I

- ▶ Turime daug pirštinių porų
- ▶ Kiekviena pirštinė apibūdinama vienu parametru: ji yra kairei arba dešinei rankai
- ▶ Koreliacija tarp pirštinių atsiranda gamybos metu
- ▶ Iš kiekvienos poros viena **atsitiktinai parinkta** (taip atsiranda tikimybės) pirštinė paliekama Žemėje, kita nusiunčiama į Kentaurų Alfą

Ekspertas I

- ▶ Tiek Žemėje, tiek Kentauro Alfoje laborantas fiksuoja atsitiktinę kairiųjų ir dešiniųjų pirštinių seką:

Žemė KDKKDKDD...

Kentauro Alfa DKDDKDKK...

- ▶ Palyginus rezultatus matyti pilna koreliacija
- ▶ Jei maitinė Kentauro Alfoje konfiskuoja kai kurias pirštines (trikdis!), turime nepilną koreliaciją

Eksperimentas I

- ▶ Jei laborantas Žemėje pamato pirštinę kairei rankai. . .
- ▶ jis **iš karto** žino, kad Kentauro Alfoje yra pirštinė dešinei rankai!

Žaibiškas informacijos perdavimas?

Ne! Kiekvienas iš laborantų mato tik atsitiktinę seką.
Koreliacija išmatuojama tik persiuntus duomenis iš abiejų laborantų į Žemės kompiuterį.

Kvantinė mechanika?

Tol, kol apsiribojame tik **vieno** dydžio matavimu, koreliacija kvantinėje mechanikoje elgiasi **taip pat**, kaip ir klasikinėje

Dvi dalelės: pridedame dar vieną parametą



Ekspertas II

- ▶ Kiekviena pirštinė, nepriklausomai nuo to, ar ji yra kairei ar dešinei rankai, gali būti raudona arba žalia. Vienoje poroje pirštinės yra skirtingų spalvų.
- ▶ Ekspertas vykdomas tomis pačiomis sąlygomis

Eksperimentas II

- ▶ Jei žiūrima, ar pirštinė kairei ar dešinei rankai, gauname

Žemė KDKKDKDD...

Kentauro Alfa DKDDKDKK...

- ▶ Jei žiūrima į spalvą, gauname

Žemė RZZZRRZR...

Kentauro Alfa ZRRRZZRZ...

Ekspimentas II

- ▶ Kiekvienas iš laborantų gali atsitiktinai pasirinkti, ar žiūrėti kuriai rankai pirštinė, ar į jos spalvą:

Žemė KDZKRRZD...

Kentauro Alfa ZKRDZDRZ...

- ▶ Tiems matavimams kuriems atsitiktinai pasirinktas matuoti tas pats dydis vėl turime pilną koreliaciją

Piktas laboratorijas vedējas

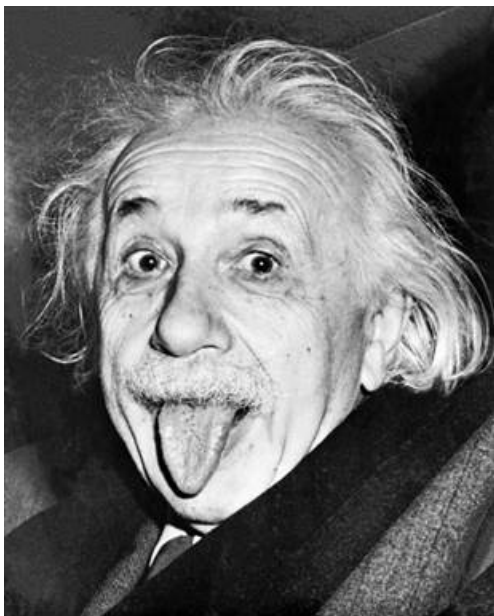
Draudžiama atlikti du matavimus su tuo pačiu objektu! Galima arba žiūrėti tik į formą arba tik registruoti spalvą.



Problema

Dabar neaišku, ar turime reikalą su spalvotomis pirštinėmis,
ar, matuojant spalvą, pakišamas koks kitas daiktas.

Čia priėjo Einstein'as. . .



EPR pasiūlymas

- ▶ Reikia atlikti matavimus atskirtus erdviškuoju intervalu, atsitiktinai kiekviename gale pasirinkus ką (formą ar spalvą) matuoti.
- ▶ Jei gaunamos koreliacijos, vadinasi iš tikro matuojame spalvotas pirštines

EPR pasiūlymo logika

- ▶ Jei atsitiktiniai pasirinkimai ką matuoti yra atskirti erdviškuoju intervalu, tarp jų negali būti priežastinio ryšio.
- ▶ Todėl, jei matuojant formą yra pakišama pirštinė, o matuojant spalvą – koks nors kitas daiktas, negali būti žinoma, kokios formos pirštinė arba kokios spalvos daiktas turi būti pakišamas.
- ▶ Jei yra pakišama, tai koreliacijų neturi būti
- ▶ Jei yra koreliacijos, tai tikrai turime spalvotas pirštines!

Ekspimentas III, kvantinis

- ▶ Turime daug vienodų sistemų talpinančių po dvi daleles
- ▶ Dalelės su sukiniu $1/2$
- ▶ Tegu sąveikos metu pasigamina būseną su pilnu sukiniu lygiu 0
- ▶ Po dalelių sąveikos jos atskiriamos ir viena paliekama Žemėje, kita nesutrikdant nusiunčiama į Kentaurų Alfa
- ▶ Matuojame vieną iš dviejų dydžių: sukinio projekciją išilgai z ašies S_z ir sukinio projekciją išilgai x ašies S_x

Kvantmechaninis aprašymas

- ▶ Būsenos vektoriai $|+z\rangle$ ir $|-z\rangle$ yra tikriniai operatoriui S_z , būsenos vektoriai $|+x\rangle$ ir $|-x\rangle$ yra tikriniai operatoriui S_x
- ▶ Iš sukinio savybių seka kad

$$|\pm z\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|+x\rangle \pm |-x\rangle)$$

- ▶ Tegu po sąveikos pasigamina dviejų dalelių būseną, aprašoma tokiu būsenos vektoriumi (pilnas sukinys lygus 0):

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|+z\rangle \otimes |-z\rangle - |-z\rangle \otimes |+z\rangle)$$

- ▶ Būsenos vektorių $|\psi\rangle$ galima perrašyti tokiu pavidalu:

$$|\psi\rangle = -\frac{1}{\sqrt{2}}(|+x\rangle \otimes |-x\rangle - |-x\rangle \otimes |+x\rangle)$$

Kvantmechaninis aprašymas

- ▶ Siunčiant dalelę į Kentauro Alfą, sukulinė būseną nesutrikdoma, taigi būsenos vektorius nepasikeičia
- ▶ Jei registruojame vienos dalelės sukinio matavimą išilgai z ašies arba išilgai x ašies, gauname, kad sukinio projekcijos vertė yra $+1/2$ su tikimybe 0.5 ir $-1/2$ su tikimybe 0.5
- ▶ Tegu matuojame pirmos dalelės S_z . Jei gavome vertę $+1/2$, tai būsenos vektorius po matavimo tampa

$$|\psi'\rangle = | + z \rangle \otimes | - z \rangle$$

o jei gavome vertę $-1/2$, tai būsenos vektorius po matavimo yra

$$|\psi'\rangle = | - z \rangle \otimes | + z \rangle$$

Kvantmechaninis aprašymas

- ▶ Jei abiejų dalelių sukinius matuojame išilgai z ašies arba išilgai x ašies tai gauname kad dalelės yra priešingų sukinių: kai vienos dalelės sukinio projekcija į z ašį yra $+1/2$, kitos yra $-1/2$. Registruojame pilną koreliaciją!
- ▶ Jei vienos dalelės sukinį matuojame išilgai z ašies, o kitos išilgai x ašies, tai matavimų rezultatai visiškai nekoreliuoti.

Kvantinė mechanika?

- ▶ Atrodo, viskas tas pats, kas ir su spalvotom pirštinėm.
- ▶ Sekant EPR logika, reikėtų dalelei priskirti S_z ir S_x vertes.
- ▶ Jei apsiribojame tik **dviejų** dydžių matavimu, tokį priskyrimą galima daryti. Koreliacija kvantinėje mechanikoje elgiasi **taip pat**, kaip ir klasikinėje, jei laikysime, kad S_z ir S_x vertes yra apibrėžtos, bet nepasiekiamos vienu metu. Tai yra, turime **paslėptus kintamuosius** (hidden variables).

Pasak Einstein' o

Mes turime dvi alternatyvas:

- ▶ Dalelė turi ir S_z ir S_x vertes, bet jos tiesiog nepasiekiamos vienu metu. Tai yra, turime paslėptus kintamuosius (hidden variables). Apie juos bus Bell' o nelygė (kitas pranešimas).
- ▶ **spukhafte Fernwirkung** (spooky action at a distance, vaiduokliškas veikimas per atstumą)

Kvantinė mechanika?

- ▶ Sekant EPR logika, reikėtų dalelei priskirti S_z ir S_x vertes. Bet...
- ▶ Operatoriai S_z ir S_x nekomutuoja! Negalima vienai dalelei priskirti iš karto abiejų dydžių.

Paradoksas

Kvantinėje mechanikoje EPR pasiūlytas metodas **netinka!**

Kodēl?

Mano nuomone, klaida EPR logikoje yra bandymas priskirti „būseną“ (kad ir kas tai bebūtų) atskirai dalelei.

Ačiū už dėmesį!

Laukite tęsinio!