



INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETĂRI ECONOMICE

CENTRUL
DE CERCETĂRI FINANCIARE ȘI MONETARE
„VICTOR SLĂVESCU”

Calea 13 Septembrie nr.13, Casa Academiei, corp B, etaj 5,
sector 5, cod poștal 050711, București, România

Telefon: ++40.21.410.55.99, FAX: ++40.21.410.55.99

e-mail: icfm01@icfm.ro



SEMINARUL DE LOGICĂ ȘI METODOLOGIE A CUNOAȘTERII ECONOMICE „NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN”



Sesiunea 83

Tema: *Mecanică cuantică și economie*

Raportor: Emil Dinga

SUMAR

- Modalitatea de examinare a problemei – **1 slide**
- Diferențe categorice între economie și teoria cuantică – **1 slide**
- Există principii comune ale celor două teorii? – **2 slide-uri**
- Câteva evaluări - **8 slide-uri**
- Alte comentarii – **4 slide-uri**

Modalitatea de examinare a problemei

- **selectarea acelor fenomene/procese identificate în lumea cuantică care ar putea fi asociate cu fenomenul/procesul economic**
- **prezentarea conținutului fenomenului/procesului identificat în lumea cuantică**
- **stabilirea modului de asociere a fenomenului cuantic cu fenomenul economic**
- **comentarii calitative privind asocierea celor două fenomene**
- **sugestii de „importare” a fenomenologiei cuantice în cea economică (din punct de vedere teoretic sau, după caz, din punct de vedere metodologic sau instrumental)**
- **alte mențiuni (dacă este cazul)**

Diferențe categorice între economie și teoria cuantică

- economia este o disciplină *macroscopică*, în timp ce mecanica cuantică este una *microscopică*
 - deoarece legile pentru lumea macroscopică sunt nepotrivite pentru lumea microscopică, pare a fi hazardat să se facă apropieri între economie și mecanică cuantică
- economia este o *disciplină socială*, în timp ce mecanica cuantică este o *disciplină naturală*
 - aceasta înseamnă că economia are de-a face cu subiecte culturale, care au liber arbitru, în timp ce mecanica cuantică nu are de-a face cu subiecți, ci doar cu obiecte, oricât de...exotice ar fi ele
- economia este mai degrabă o hermeneutică (sau, în cel mai bun caz, o praxeologie) decât o știință, în timp ce mecanica cuantică este o știință complet formală (ba chiar cu o matematică idiosincronică)
- în cea mai mare parte, economia nu poate enunța predicții, în timp ce teoria cuantică s-a evidențiat prin cele mai reușite predicții dintre toate predicțiile făcute în științele naturii

Există principii comune ale celor două teorii? (1/2)

- și totuși, în economie și teoria cuantică există, în opinia mea, **șase** principii care par a fi comune:
 - **principiul statistic**: și economia și teoria cuantică se ocupă de populații și nu de indivizi
 - cele mai exacte predicții în teoria cuantică sunt despre medii, nu despre indivizi (aspect valabil și pentru economie – vezi entuziasta și, pe alocuri, ridicola econometrie)
 - aici apare importanta problemă a probabilității, care va fi examinată detaliat ulterior
 - **element de prudență**: în teoria cuantică tratamentul statistic este justificat de omogenitatea perfectă a indivizilor, în timp ce în economie indivizii sunt eterogeni
 - **principiul cuantic (al discontinuității ontologice)**: și economia și teoria cuantică sunt, din punct de vedere ontologic, „mulțimi” discrete
 - în teoria cuantică, discretizarea este asigurată de mărimile *Planck* (pentru timp, respectiv pentru spațiu)
 - în economie, discretizarea este asigurată de semnificația economică a analiticizării: ex. – creșterea analiticității unui sistem sub nivelul locului de muncă nu mai are semnificație economică, deoarece nu mai este permisă inter-acțiunea subiect – obiect
 - **element de prudență**: digitalizarea modifică în mod radical problema semnificației discretizării obiectului economic (mai exact, a pachetului **SO**: *subiect – obiect* economic)

Există principii comune ale celor două teorii? (2/2)

- **principiul decoerenței**: și în economie și în teoria cuantică impactul mediului asupra comportamentului indivizilor (esența decoerenței) este inevitabil și considerabil
 - **element de prudență**: va trebui să se discearnă între dependența ne-normată de mediu (cazul teoriei cuantice) și dependența normată de mediu (cazul economiei)
- **principiul superpoziției**: și în economie și în teoria cuantică măsurarea este crucială în stabilirea (observarea, înregistrarea) unui anumit rezultat fenomenologic
 - înaintea măsurării subzistă o incertitudine cauzată nu de ignoranță ci de impactul măsurării asupra obiectului măsurat (regăsim noțiunea de pachet SO: *subiect – obiect*)
 - **element de prudență**: cauza „reacției” obiectului măsurat este diferită în cele două teorii
- **principiul tunelării**: și în economie și în teoria cuantică indivizii se pot comporta peste „posibilități”, exploatând mediul (teoria cuantică) sau ceilalți indivizi – care intră, și ei, în „mediu” (economie)
 - **element de prudență**: în teoria cuantică este vorba despre energie fizică, în economie despre „energie” financiară sau, uneori, instituțională
- **principiul incertitudinii**: și în economie și în teoria cuantică există necomutativitate în măsurarea simultană a unor proprietăți ale obiectelor specifice, ca urmare apare incertitudinea în măsurare (mai exact, apare imprecizia în măsurare)
 - **element de prudență**: cauza necomutării observabilelor este diferită în cele două teorii

Câteva evaluări (1/8)

- **Principiul statistic și probabilitățile**

- **enunț în teoria cuantică**: evenimentele cuantice *sunt* aleatorii; tot ce putem face pentru a le cunoaște este să le modelăm stohastic (**NB**: aleatoriul nu este echivalent cu stohasticul – ultimul presupune un pattern comportamental)
- **enunț în teoria economică**: evenimentele economice se comportă *ca și cum* (**as if**) ar fi aleatorii; cunoașterea lor implică, de asemenea, modelarea stohastică
- **discuție**:
 - statisticitatea cuantică are natură *ontologică* (este constitutivă fenomenului cuantic), în timp ce statisticitatea economică are natură *gnoseologică* (este generată de ignoranța subiectului observator)
 - fenomenul cuantic este guvernat de *reguli*, în timp ce fenomenul economic este guvernat de *cauzalitate*
 - regula reclamă corelația stabilă – din punct de vedere logic avem un silogism cu cuantificatorul temporal universal „*ori de câte ori*” în premisa majoră
 - cauzalitatea reclamă explicația – din punct de vedere logic avem un silogism cu cuantificatorul condițional universal „*dacă...atunci*” în premisa majoră
 - statisticitatea fenomenului cuantic este una bazată pe omogenitatea populației, în timp ce în economie este bazată doar pe copleșirea gnoseologică a observatorului (în economie populația este eterogenă)

Câteva evaluări (2/8)

- **Principiul cuantic (al discontinuității ontologice)**

- **enunț în teoria cuantică**: realitatea obiectivă microscopică este cuantică (discontinuuă) în mod *ontologic*
- **enunț în teoria economică**: deciziile și acțiunile economice sunt cuantice (discontinue) în mod *praxiologic*
- **discuție**:

- (teoria cuantică) atât pentru spațiu, cât și pentru timp există cele mai mici (adică indivizibile) entități (noii „atomi”) – valorile *Planck*: a) pentru timp:

$$t_P = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} = 5,4 \cdot 10^{-44} \text{ secunde; b) pentru lungime: } l_P = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1,6 \cdot 10^{-35} \text{ metri}$$

- (economie) deși fenomenul de reflecție (de conștiință) nu este stabilit a fi sau nu cuantificat, obiectivarea fenomenului de conștiință (adică manifestarea lui praxiologică) este cuantificat
- **NB1**: matematica de tip continuu (mai elegantă decât cea discretă) este o aproximare prin infinitezimare a realității (atât în teoria cuantică – vezi funcția de undă a lui *Schrödinger* –, cât și în economie – vezi funcția de producție *Cobb-Douglas*)
- **NB2**: consecință instrumentală: teoria cuantică și-a dezvoltat propria matematică (și logică) – logica cuantică este o logică trivalentă: adevărat, fals, *posibil*; de observat că, în logica trivalentă a lui *Lukasiewicz*, a treia valoare de adevăr este *nedeterminat/necunoscut/în dubiu*)
- **NB3**: în ambele domenii avem *punctuated equilibrium* (ca, de altfel, și în biologie)

Câteva evaluări (3/8)

- **Principiul decoerenței**

- **enunț în teoria cuantică**: evoluția observabilelor (operatorii care descriu indivizii cuantici) este influențată de mediul saturat cu radiații (nu există vid); radiațiile din mediu modifică fazele undelor amplitudinilor de probabilitate ale observabilelor
- **enunț în teoria economică**: evoluția modelelor de raționalitate (operatorii care descriu indivizii economici) este influențată de mediul social (valori, norme etc.); influența mediului social modifică deciziile „pure” din modelele de raționalitate
- **discuție**:
 - în lumea cuantică, decoerența conduce la ordinea macroscopică din dezordinea microscopică
 - stohasticizează fazele observabilelor (eliminând aleatoriul)
 - acesta este motivul succesului în predicții al teoriei cuantice
 - în lumea economică, decoerența conduce la ordinea macroeconomică din dezordinea microeconomică (vezi libertarianismul)
 - stohasticizează comportamentul economic (eliminând aleatoriul)
 - acesta este motivul utilizării distribuțiilor de probabilitate în economie
 - decoerența apropie probabilitățile cuantice (ontologice) de probabilitățile „economice” (gnoseologice)

Câteva evaluări (4/8)

- **Principiul superpoziției**

- **enunț în teoria cuantică:** indivizii cuantici, luați izolat, exhibă comportamente de corpuscul; luați împreună – exhibă comportamente de undă
- **enunț în teoria economică:** indivizii economici, luați izolat, exhibă comportamente „pure” (producător, consumator, investitor); luați împreună – exhibă comportamente „impure” (același individ este și producător și consumator)
- **discuție:**
 - principiul superpoziției implică (permite) amestecarea stărilor
 - principiul superpoziției implică (permite) *entanglarea* stărilor
 - și în teoria cuantică și în economie principiul superpoziției implică (permite) colapsarea la măsurare (sau la observare sau la experiment)
 - în teoria cuantică: observabila „alege” o anumită stare (vector de stare în spațiul *Hilbert*) pe care o „arată” observatorului, dintre toate stările posibile
 - în economie: un individ, în funcție de scopul observării, „arată” un singur status (rol), adică stare
 - **NB:** decoerența nu poate explica „alegerea” stării pe care individul o exhibă
 - totuși, în economie, impactul decoerenței pare mai „tratabil” (vezi teoria ghionturilor la *Thaler*)
 - calculul cuantic se bazează pe superpoziția stărilor cuantice (computabilitate paralelă)
 - economia a integrat foarte puțin (și doar cu caracter întâmplător, nesistematic) principiul superpoziției

Câteva evaluări (5/8)

• Principiul tunelării

- **enunț în teoria cuantică:** trecerea unui individ peste o barieră (potențial) de nivel energetic prin „împrumut” de energie din mediu, care este, apoi, „restituit”
- **enunț în teoria economică:** depășirea, de către un individ, a unei situații de imposibilitate economică, prin împrumut (de regulă financiar” din mediu, care este, apoi, restituit
- **discuție:**
 - în ambele domenii, tunelarea se produce doar dacă nivelul „împrumutului” este relativ mic în raport cu energia deja deținută (în teoria cuantică), respectiv în raport cu capitalul deja deținut (în economie)
 - totuși, în economie, colateralul poate fi și nul (în teoria cuantică „colateralul” nu poate fi prea mic, e nevoie ca probabilitatea de trecere a barierei de potențial energetic să fie relativ mare)
 - în economie, pe lângă împrumutul din mediu, mai există și auto-împrumutul (utilizarea fondului de rulment)
 - există și *deosebiri:*
 - tunelarea cuantică se produce în mod probabilistic (adică stohastic), pe când în economie ea se produce în mod determinist
 - în economie există și „împrumut” instituțional: facilități, exonerări, monopolizări, discriminări pozitive

Câteva evaluări (6/8)

- **Principiul incertitudinii**

- **enunț în teoria cuantică**: nu este posibilă măsurarea simultană, cu o precizie dată, a doi operatori cuantici care nu comută
- **enunț în teoria economică**: nu este posibilă măsurarea simultană, cu o precizie dată, a două mărimi economice care nu sunt substituibile sau care sunt de tip trade-off (între ele)

- **discuție**:

- cazul considerat inițial de *Heisenberg* a fost: poziția și momentul (sau impulsul unghiular; **NB**: dacă se consideră viteza liniară obținem impulsul liniar)

$\Delta x \cdot \Delta m \geq \frac{\hbar}{2} = \frac{h}{4\pi}$ (inecuația nu-i aparține lui *Heisenberg*), unde: Δx este deviația standard a poziției (separat pe cele trei dimensiuni spațiale), Δm este deviația standard a impulsului, $h = \frac{E}{\nu}$ este constanta *Planck*, E este energia, ν este frecvența, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$

- principiul se aplică și asupra altor perechi de operatori care nu comută: ex.: (energie-timp, poziție unghiulară-moment cinetic etc.)
- exemple de mărimi non-substituibile, între ele, în economie:
 - valoare-preț
 - utilitate-preț
- exemplu de mărimi care se află, între ele, în relații de tip trade-off:
 - inflație-șomaj

Câteva evaluări (7/8)

- **Alte evaluări**

- (1): cele două teorii cuantice (teoria ondulatorie – *Schrödinger*, teoria matricială – *Heisenberg*) sunt echivalente
 - la *Heisenberg*: dependența de timp a evoluției individului este considerată la nivelul operatorului (observabilei) (**NB**: operatorul este un dispozitiv matematic care transformă o stare a particulei în alta)
 - asocierea de numere reale operatorilor se face prin calcularea valorilor proprii (ale vectorilor proprii) *eigenvalues*, respectiv *eigenvectors*
 - la *Schrödinger*: dependența de timp a evoluției individului este considerată la nivelul vectorului de stare a particulei
- (2): dacă un operator O modifică un vector v într-un multiplu m al său, atunci v este un vector propriu al O , cu valoarea proprie m
 - aici apare un element de certitudine a măsurării în teoria cuantică
 - transformarea unui vector de stare în vector propriu este efectul colapsării funcției de undă
- (3): există și o versiune deterministă a teoriei cuantice, elaborată de *David Bohm*
 - consideră unda ce element de ghidare (furnizat de mediu) al evoluției copusculului
 - de fapt, transferă variabilele ascunse (respinse de Bell) asupra condițiilor inițiale
 - există o „variabilă ascunsă” a lui *Bohm*: probabilitățile inițiale sunt date de teoria cuantică standard (probabilistă): *Bohm* nu a putut da funcția de undă a „ghidajului”

Câteva evaluări (8/8)

– (4): liberul arbitru

- (def) capacitatea subiectului de a se opune necesității sociale (**NB**: nu necesității naturale)
- în *economie*, liberul arbitru este echivalat, cel mai adesea, cu libertatea (**NB**: desigur, tot în raport cu necesitatea socială – necesitatea socială este o necesitate intra-contingentă)
- în *teoria cuantică*: pare că particulele „știu” că în apropiere se află un sistem macroscopic (atunci când se face un experiment) și-și măresc rata de colapsare a pachetului de undă, astfel că starea colapsată este observabilă macroscopic
- **concluzie**: și în economie și în teoria cuantică există efectul legii anunțului: este numit efect *Oedip* în economie; în teoria cuantică, chiar dacă aparatul de măsură se instalează *după* ce electronul a plecat spre fantă, acesta „află” și se comportă în consecință

– (5): fractalitate și haos

- haosul (dependența senzitivă de condițiile inițiale) există și în lumea cuantică și în economie
 - s-a dezvoltat, ca urmare, o teorie a haosului cuantic (Quantum Chaology)
- în economie nu există fractalitate (**NB**: ar fi interesant de studiat teoretic de ce!), în ciuda unor entuziaști de aceeași factură intelectuală cu econometriștii, care cred că există!

– (6): efectul *Zenon*: inhibarea, ca urmare a inter-acțiunii cu mediul, a unui comportament „predictat” al individului

- se aplică și în teoria cuantică (dezintegrarea unei particule este inhibată ca urmare a interacțiunii cu fotonii din mediu – vezi decoerența) și în economie (vezi conceptul de cadru situațional, sau geodezică economică, sugerat de noi în câteva lucrări)

Alte comentarii (1/4)

- **(I): operațiile cu probabilități**
 - caracterul ontologic al probabilității în teoria cuantică face ca operațiile algebrice să se facă nu asupra probabilităților, ci asupra pătratului amplitudinii funcției de undă (deși amplitudinea este un număr complex, probabilitatea va fi pozitivă)
 - în economie, operațiile algebrice se fac direct asupra probabilităților indicate de distribuția de probabilitate
- **(II): utilizarea numerelor complexe**
 - în teoria cuantică sunt utilizate pentru că exprimă în mod adecvat fazele undelor de probabilitate (**NB**: caracterul ondulatoriu nu este o proprietate a particulelor cuantice, ci a observabilelor, adică a operatorilor care descriu particulele cuantice)
 - în economie, numerele complexe ar putea fi utilizate în descrierea fenomenelor economice care se comportă ca „unde” – ex.: ciclul economic (**NB**: nu cunosc nici măcar o încercare de a utiliza modelarea ciclului economic cu numere complexe, deși se folosesc serii *Fourier*)
- **(III): problema măsurării**
 - (**def**) în teoria cuantică, măsurarea este un lanț de consecințe observaționale prin care o stare cuantică devine inteligibilă la nivel macroscopic
 - ea este supusă principiului colapsării funcției de undă (mai exact: pachetului de unde)
 - rata de colapsare este prezentă tot timpul în fenomenul cuantic, dar este insesizabilă; ea se accelerează în prezența sistemelor mari (aparatură de măsură) și de aici colapsarea observabilă

Alte comentarii (2/4)

- **(IV): problema (ipoteza) lumilor multiple**
 - nu se produce nici o colapsare a pachetului de unde; toate posibilitățile se actualizează în toate lumile posibile, noi suntem într-una dintre ele și observăm o anumită actualizare a stării
 - **NB:** *Feynman* a propus un model al lumilor multiple (dar mai sunt și alții: *Hilary W. Putnam*, *David K. Lewis* – mai ales din perspectivă filosofică)
 - (*Feynman*) traiectoria particulei este dată de suma traiectoriilor ei în toate lumile posibile; întrucât se aplică principiul minimei acțiuni (*Maupertuis*), noi observăm, în lumea noastră, traiectoria care corespunde aplicării principiului minimei acțiuni
- **(V): statisticile**
 - există două statistici în teoria cuantică, iar ele tratează diferit colapsarea pachetului de unde
 - statistici *Bose*: funcția de undă nu este modificată de substituirea particulelor între ele
 - funcția de undă este simetrică relativ la substituirea particulelor între ele
 - nu funcționează principiul excluziunii (principiul lui *Pauli*)
 - particulele se numesc *bosoni* (ex. fotonii)
 - se produce condensarea *Bose*, care a condus la crearea laserilor
 - statistici *Fermi*: funcția de undă nu este modificată de substituirea particulelor între ele
 - funcția de undă este antisimetrică, adică își schimbă semnul algebric
 - funcționează principiul excluziunii
 - particulele se numesc *fermioni* (ex. electronii)

Alte comentarii (3/4)

- **(VI):** respingerea teoriei cuantice în forma ei probabilistă
 - *David Bohm* – o variantă deterministă (dar „contaminată” probabilistic)
 - *Louis de Broglie* și *Erwin Schrödinger*: au fost oripilați de ipoteza unei teorii cuantice probabiliste
 - **NB:** funcția de undă a lui *Schrödinger* este o ecuație deterministă (este o ecuație cu derivate parțiale de ordinul 2)
 - *Einstein*: a avut două „episoade” de contestare
 - primul: obiectivul a fost respingerea impreciziei *Heisenberg* (atacul a fost îndreptat împotriva lui *Bohr*)
 - *Einstein* a pierdut în fața lui *Bohr*
 - al doilea: obiectivul a fost respingerea non-localității comportamentului cuantic (respingerea entanglării)
 - experimentul (mental) *Einstein-Podolski-Rosen* (EPR)
 - (vezi slide-ul următor pentru detalii)

Alte comentarii (4/4)

- fie două particule cu spin s_1 , respectiv s_2 și $s_1 + s_2 = 0$ (**NB**: spinul este un vector 3D)
- măsurarea componentelor spinului pe cele trei dimensiuni spațiale trebuie să dea valori opuse pentru cele două particule, pentru că spinul e zero
- dar teoria cuantică nu poate măsura simultan valorile spinului pe direcțiile x, respectiv y (apare incertitudinea *Heisenberg*)
- deci, orice s-ar întâmpla cu particula 1 nu va avea efect asupra particulei 2
 - așadar, separarea spațială nu are efect care să treacă de la o particulă la alta
- dar, dacă măsurăm x sau y la particula 1, atunci știm care sunt aceste valori pentru particula 2, deci această particulă are aceste valori exacte, indiferent dacă le măsurăm sau nu (la particula 2)
- deci (*Einstein*) ceva e în neregulă cu teoria cuantică
- *explicația oponentilor*
 - măsurarea la particula 1 forțează particula 2 să ia valoarea corectă, deci o forțează să-și colapseze funcția de undă
 - *efectul EPR* – denumire plină de ironie!: generarea de modificări în particula 2 de către modificările operate în particula 1 (colapsarea la particula 1 generează colapsarea la particula 2)
 - » **NB**: efectul EPR este ontologic, nu gnoseologic
- contribuția lui *Bell*
 - elimină localitatea și impune non-localitatea (globalitatea, entanglarea) între particule (**NB**: în economie entanglarea este evidentă, de ex. prin norme; aici avem și o separare spațială, ca în teoria cuantică, dar și una temporală, normativă, culturală etc.)
 - partea matematică: inegalitățile *Bell* (o încercare anterioară a fost a lui *von Neumann* – eliminarea variabilelor ascunse – dar *Bell* i-a descoperit o eroare de natură matematică)
 - concluzie: chiar și subatomic nu avem atomism (**NB**: mai exact, nu avem monadism!)

**VĂ MULȚUMESC PENTRU
ATENȚIE !**