МАТЕМАТИЧКИ ОМНИБУС, 3 (2018), 85 – 102
http://im-pmf.weebly.com/matematicki-omnibus-kniga-3.html

ЗАТВОРЕНИЧКА ДИЛЕМА: КОНТЕКСТ, ПРЕДИЗВИЦИ, ВАРИЈАЦИИ

Невена Серафимова [1]

Затвореничка дилема (*ЗД*) е загадочното име кое се користи за една од мноштво (144) ординални модели на 2x2 игри (двајца играчи со по две стратегии) со дискретни множества стратегии, комплетна информација и симултани потези на играчите. Сепак, ниту една друга игра не добила, оправдано или не, толку интензивно внимание и академска посветеност како што е случајот со *ЗД*. Акселрод ја нарекувал *E.coli* на социјалните науки, Елстер сметал дека таа го опишува фундаменталниот проблем во политичките науки, а МекКејн тврдел дека нејзината важност е еднаква со онаа на влијателната *Теорија на игри и економско однесување* на вон Нојман и Моргестерн, [12].

Меѓу игрите со позитивна сума, *ЗД* е веројатно најпознатиот пример. Овие игри се специфични по тоа што имаат *вин-вин* исход, во кој ниту една од страните не добива повеќе на сметка на другата. Оттука, рационалниот играч може да игра во своја корист, но и во корист на противникот, избирајќи опција од која и другиот играч ќе профитира. Решенијата со позитивна сума се поверојатни во ситуации кои се под влијание на повеќе различни интереси, [13]. *ЗД* е единствениот модел на симетрична 2x2 игра чиј еквилибриум е составен од доминантни стратегии, но истовремено е и Парето доминиран. Ова значи дека исходот од играта е инфериорен во строга смисла (строго Парето - неефикасен, т.е. постои исход кој е стриктно подобар барем за еден, во случајов и за двата играчи), но од друга страна е поткрепен со силен еквилибриумски концепт (еквилибриум од доминантни стратегии, т.е. исход во кој сите ја играат својата доминантна стратегија). Ваквата состојба доведува до своевиден парадокс на рационалоста – имено, рационалниот исход за двајцата играчи е добивно инфериорен. Следната ситуација го мотивира името на *Затвореничката дилема*.

Двајца затвореници се наоѓаат во одделни ќелии без можност за комуникација. Обвинителот му нуди на секој од нив спогодба, кажувајќи му истовремено дека истата спогодба ја добил и другиот.

– Ако признаеш дека си го извршил делото заедно со твојот соучесник, а тој одрекува, тогаш ќе те ослободиме, а другиот ќе добие 5 години затвор.
– Ако и двајцата одрекувате, тогаш имаме доволно докази за да ве осудиме и двајцата секој на по една година.
– Ако и двајцата го признаете делото, тогаш и двајцата ќе добиете по 3 години затвор.

Овде, секој од затворениците А и В има на располагање по две стратегии: да признае или да молчи. Исходот од преземените акции ќе го класифицираме на следниот начин (Слика 1):

– добивка за кодошот (Д = 0), награда за молчење (Н = 1),
– казна за заемно клеветење (К = 3) и искушение за клеветење (И = 5).

А \ В	Молчи	Клевети
Молчи	($Н_А$, $Н_В$) (1, 1)	($И_А$, $Д_В$) (5, 0)
Клевети	($Д_А$, $И_В$) (0, 5)	($К_А$, $К_В$) (3,3)

Слика 1. Добивна матрица на *Затвореничката дилема*.

Преференците за играње во општата форма на *ЗД* се определени со подредувањето И>Н>К>Д. Вообичаено се додава уште еден услов: 2Н>И+Д, според кој заемната соработка обезбедува подобра добивка, во споредба со онаа од наизменично соработување и дефектирање. Добивната релација Н>К укажува дека заемната *соработка* (молчење) е подобра од заемното дефектирање, а од И>Н и К>Д заклучуваме дека *дефектирањето* (клеветење) е доминантна стартегија за двајцата играчи. Според претпоставката за рационалност на играчите, ниту еден од нив нема да игра доминирана стратегија, па исходот ($К_А$, $К_В$) од аспект на рационалноста, е недвосмислен.

Секоја ситуација која ги задоволува овие услови се нарекува *затвореничка дилема*. Описно, се работи за интерактивен модел во кој рационалниот избор на секој поединец е да не соработува, иако истовремено, соработката носи подобар исход. Овој „парадокс“ е многукратно олицетворен во политиката, бизнисот, генетиката, како и во мноштво социјални интеракции.

Моделот на *ЗД* во продолжение е илустриран преку неколку примери од различни области.

Играта на донирање

Во играта на донирање, соработката одговара на нудење на определена корист k во замена за личен влог (трошок) t, при што k>t. Дефектирањето значи и двете страни да се воздржат од понуди. Добивната матрица на донирањето е прикажана на Слика 2.

A \ B	**Соработува**	**Дефектира**
Соработува	**(k-t, k-t)**	**(-t, k)**
Дефектира	**(k, -t)**	**(0, 0)**

Слика 2. Матрица на добивки за *играта на донирање*

Во оваа игра важи 2Н > И+Д односно 2(k–t) > k–t, поради што може да се разгледува нејзиниот итериран облик (за што ќе зборуваме подолу).

Играта на донации може да ја воочиме во пазарната размена. На пример, да претпоставиме дека А одгледува портокали, а В јаболка. Маргиналната добивка на А за едно јаболко е k и таа е повисока од маргиналната добивка за еден портокал t, бидејќи А има вишок портокали, но нема јаболка. Аналогна е ситуацијата на Б. Ако А и В се договорат да разменат едно јаболко со еден портокал и секој се придржува до договорот, тогаш секој ќе има добивка од k-t. Ако едниот дефектира и не го испорача својот дел, ќе заврши со добивка k, додека другиот ќе загуби t. Ако и двајцата дефектираат, ниту ќе загубат ниту ќе добијат.

Загадување и заштита на околината

Колкумина ги оставаат дома своите автомобили кога властите ќе повикаат за користење на јавниот превоз, со цел да се намали количеството издувни гасови во големите градови? Истото прашање би до-било сличен одговор во една друга, глобална димензија. Имено, иако секоја држава добива од намалувањето на емисијата на CO_2, властите честопати се колебаат при примената на неопходните мерки. Се чини дека за рационалните лидери е исправно да го занемарат проблемот, сметајќи дека или останатите ќе се ангажираат (со што нивната држава ќе добие *бесплатно возење*) или одговорот од страна на заедницата нема да биде соодветен, па индивиуалното ангажирање нема да ги спаси од неизбежната катастрофа. Сепак, ставот дека непосредниот бенефит за одделна држава која останува на старите пракси е поголем од оној, кој би го добила кога однесувањето на сите држави би се сменило, се смета за погрешен, [15].

Важна разлика помеѓу политиката на климатски промени и *ЗД* е неизвесноста: обемот и брзината со која загадувањето може да ја менува климата се непознати. Оттука, дилемата со која се соочуваат владите е различна од *ЗД* по тоа што добивките не се познати, што сугерира дека државите ќе соработуваат многу помалку отколку во вистинската повторена *ЗД*. Според тоа, веројатноста да се избегне можна климатска катастрофа е многу помала од онаа која ја предвидува теориската анализа на вистинска итерирана *ЗД*, [16].

Во животинскиот свет

Кооперативното однесување кај многу од животинските заедници може да се разбере како *ЗД*. Честопати тие влегуваат во долги партнерства со одредени правила. Така на пример, лилјаците применуваат реципрочна размена на храна, т.е. хранење со крв (доколку најдат плен) или давање крв на друг лилјак (ако тој не успеал да најде храна). Се разбира, ова не обврзува ниту еден од нив да возврати на истиот начин: „идеалната“ ситуација на максимална моментална добивка е да се добие, но да не се даде. Долгорочно, сепак, ова може да не е идеалниот избор.

Психологија на зависностите

Зависното однесување може да се прикаже како меѓувременска *ЗД* игра помеѓу сегашното и идното *јас* на зависникот. Притоа, соработката подразбира апстиненција, а дефектирањето значи враќање во зависност. Лесно се согледува дека недефектирање *сега* и *во иднина* е најдобриот исход. Случајот кога некој апстинира денес, но се враќа (рецидивира) во иднина е најлошиот исход - на некој начин, дисциплината и жртвата на апстинирање се залудно потрошени бидејќи и покрај трудот, зависникот е повторно на почетокот и треба да направи сѐ одново (што делува демотивирачки). Рецидивирање денес и во иднина е нешто подобар исход, бидејќи и покрај зависноста, не е вложуван напор за нејзино елиминирање. Последниот случај (денес зависност, а утре апстиненција) е вообичаен за овој проблем, како и за општиот модел на *ЗД* – постои очигледен бенефит од денешното дефектирање, а исто и утре кога ќе се најде во истата ситуација, итн. што води до бескрајна низа од дефектирања, [1].

Во економијата

Производителите се здружуваат во картели за да ја обезбедат цената на своите производи на пазарот. Потрошувачите на тие производи имаат интерес ако членовите на картелот дефектираат, т.е. ги намалуваат договорените цени во потрага по поголем профит. Ова е еден очигледен мотив за појава на *ЗД* во пазарните односи на понуда и потрошувачка.

Рекламирањето некогаш се наведува како вистински пример за *ЗД*. Компаниите си поставуваат прашања како: *Кога да се рекламира? Колку пари да се вложат во рекламирање?* Ефективноста на рекламите за производителот А е делумно зависна од рекламирањето кое го прави конкурентот Б, и обратно. Така, ако и двете фирми одлучат да се рекламираат во ист период, ќе сметаме дека тоа го поништува ефектот и тие си остануваат на истиот профит, но трошоците се зголемиле поради вложувањето во реклами. И двете би имале корист ако го намалат рекламирањето. Но, ако Б одбере да не рекламира, А може да многу да добие со рекламите. Како и да е, оптималниот износ на рекламирање за една фирма зависи од тоа колку вложува другата во тоа. Затоа овде не постои доминантна стратегија, поради што ова е малку поразлично од *ЗД*. Исходот е сличен во тоа што и за двете фирми е подобро да рекламираат помалку отколку во еквилибриум, [5].

Ситуацијата на *ЗД* влијае на појавување на разни облици на кооперативно однесување во бизнисот. Парадоксот на интереси во индустријата на рекламирање на цигари, на пример, доведе до тоа забраната за рекламирање да биде позитивно прифатена, со мисла дека тоа ќе ги намали трошоците и ќе го зголеми профитот на индустријата.

Во спортот

Допингот во спортот, гледан како интеракција помеѓу двајца натпреварувачи е уште еден облик на *ЗД*. Двајца спортисти кои се натпреваруваат имаат опција да користат нелегална и/или опасна стимулирачка супстанција со цел да ги зголемат своите перформанси. Ако и двајцата се воздржат од тоа, тогаш ниту едниот ниту другиот ќе добие дополнителна предност во натпреварот. Ако, пак, само еден се одлучи за таков чекор, тогаш ќе добие значителна предност пред противникот, која е сепак намалена од опасноста да биде подложен на легални или здравствени потешкотии. Ако, пак, и двајцата користат недозволени стимулатори, тогаш придобивките се поништуваат и останува само опасноста, што ги става во полоша ситуација отколку воопшто да не прибегнале кон употреба на допинг, [9].

Во меѓународната политика

Доминантна одлика на меѓународните односи е комплексноста на стратегиските интеракции помеѓу глобалните актери, кои отсекогаш се стремеле кон унапредување на сопствената безбедносна состојба. Голем дел од овие интеракции резултираат во безбедносна дилема: активностите преземени заради сопствената безбедност ги стимулира другите субјекти да преземаат акции за зголемување на нивната безбедносна состојба, што пак дополнително ја намалува безбедноста на сите останати. Овој бесконечен круг наметнува потреба за извесни самооткажувања и одлуки за соработка со цел да се постигне одредена, релативна безбедност и стабилност. Сепак, скриената желба за доминирање на политичката сцена води до примена на стратегии на дефектирање: лажење, пазарење, разни форми на колаборационизам кој ја поткопува соработката. Ваквите односи може да се опишат преку неколку модели на игри, меѓу кои е и *Затвореничката дилема*.

Во теоријата на меѓународна политика, моделот на *ЗД* честопати се користи во контекст на дејствување во насока на сопствениот интерес, а во услови на меѓународна анархија (таканаречен *стратешки реализам*). Студената војна е само еден пример, а голем број вакви примери ќе најдеме и во денешните меѓународни општења. Прекршувањето на мировните договори, на договорите за нуклеарно разоружување или договорите за здружување, се поттикнати од стратешките интереси на секоја држава и раководени од рационалниот парадокс на *ЗД*.

2. НАДГРАДУВАЊЕ: N ИГРАЧИ, ПОВТОРЕНА ИГРА

Играта на *Затвореничка* дилема е разгледувана во многу форми и варијанти. Во општата форма на *ЗД* со n играчи, секој од учесниците може самостојно да бира со кого ќе соработува, а со кого не. Притоа, меѓу играчите не постои никаква комуникација. Натаму, секој играч има поголема добивка од несоработка отколку од соработка (доминантна стратегија), а сите играчи имаат помала добивка ако некој не соработува, отколку во случај кога сите соработуваат (Парето-инфериорност) ([6]).

Да земеме пример на *ЗД* со 3 играчи во која, ако тројцата соработуваат – добиваат 3, ако двајца соработуваат – добиваат 2, а третиот кој дефектира – добива 4, ако еден соработува – добива 1, а останатите двајца – 3 и ако сите дефектираат – добиваат 2. Оваа ситуација е илустрирана на Слика 3, при што добивките во првата редица се однесуваат на ситуации во кои соодветната стратегија ја применува само еден играч (A, B или C), додека во втората редица се добивките кога дадена стратегија ја применуваат сите играчи.

стратегија / играчи	Соработува	Дефектира
A, B, C	**(1,3,3) (3,1,3) (3,3,1)**	**(4,2,2) (2,4,2) (2,2,4)**
ABC	**(3,3,3)**	**(2,2,2)**

Слика 3. Илустрација на *ЗД* со три играчи

Општо, за претставување на игри со *n* играчи не се користат матрици, туку функции на добивка. Така, ако *m* од вкупно *n* играчи во

ЗД соработуваат и притоа добивките на соработувач и дефектор се C(m) и D(m) соодветно, тогаш условите на играта ќе бидат:

$$D(m) > C(m+1), \text{ и}$$
$$C(n) > D(0).$$

Притоа, ќе има n+1 можни исходи: 0, 1, 2, ..., n, кои одговараат на бројот на играчи кои избираат соработка. Првиот услов означува дека соработката меѓу m учесници секогаш обезбедува повисока добивка за оној кој дефектира, во споредба со оној кој станува m+1 соработник (за m = 0,1,…, n−1). Според вториот услов, универзалната соработка меѓу сите n играчи носи поголема добивка од универзалното дефектирање.

Без оглед на големината на n, во еднократната (нормална) верзија на *ЗД*, ниту еден од играчите нема да биде поттикнат на соработка. Всушност, и ако таа се повторува неколку (познат број) пати, теоријата вели дека нема подобар избор од несоработка (чист Нешов еквилибриум), што може да се утврди со индукција наназад. Имено, двајцата учесници знаат дека во последната рунда ќе се решат за несоработка бидејќи нема да има прилика за реванширање. Ако ја тргнеме последната рунда, истото ќе важи за претпоследната, итн. за сите претходни повторувања. Но ако ова се повторува бесконечен број пати, под одредени околности, може да дојде до појава на соработка како најдобар можен избор.

Всушност, може да се рече дека стратегијата на дефектирање е непосакувана во итерираната верзија на *ЗД* и не го опишува индивидуалното однесувањето на учесниците. Сепак, за да се појави соработка помеѓу рационални играчи, вкупниот број на рунди притоа треба да биде случаен, или барем непознат за играчите. Во ваков случај, постојаното дефектирање може да не биде строго доминантна стратегија туку само Нешов еквилибриум (што значи, исход во кој никој не може да добие повеќе со еднострано менување на сопствената стратегија).

Во итерираната верзија на *ЗД* доаѓа до израз условот 2Н>И+Д, кој спречува наизменичното соработување и дефектирање да донесе поголема добивка од стратегијата на соработка. Но, воспоставувањето на соработка помеѓу играчите не е воопшто едноставно, па тие често заглавуваат во инфериорната но стабилна стратегија на дефектирање.

Итерациите може да произведат и нови стратегии, што особено доаѓа до израз во комплексните општествени интеракции. На пример, веќе споменатата *мило за драго* стратегија која дава добри резултати, е чувствителна на сигнални грешки: еден од субјектите може да покаже кооперативно однесување, но од другата страна истото да се толкува како измама. Ова ќе резултира со промена на однесувањето, односно влегување во ланец од дефектирања на двете страни. Во таа смисла, стратегија како *победи-задржи загуби-промени* (т.е., ако измамата не е откриена повтори го однесувањето, ако си фатен промени ја стратегија-та), може да покаже подобри перформанси во однос на водечката *мило за драго* ([10]).

Итерираниот облик на *ЗД* е фундаментален за некои од теориите на соработка. Под претпоставка дека играта моделира трансакции во кои е потребна доверба, кооперативното однесување во популациите може да се моделира со итерирана верзија на *ЗД* со повеќе играчи. Не-каде оваа игра е позната и како *војна и мир*. Во контекст на повторената *ЗД* може да произлезат и многу дополнителни прашања поврзани со комуникациите, формирањето коалиции, целта на играта (да се максимизира добивката, да се победи конкуренцијата, да се формира однесување), па дури и со личноста на играчот. Оттука, повторената *ЗД* е широко проучувана, вклучувајќи и компјутерски симулации. Познатиот турнир во повторена *ЗД* кој во 1984 го започнал Акселрод, каде учесници од целиот свет учествуваат со компјутерски стратегии за натпреварување, дава одреден увид во успешноста на стратегиите. Во секоја од однапред утврдениот број рунди и при комплетно сеќавање за претходните интеракции, учесниците (всушност, програмите кои тие ги доставиле) бираат своја оптимална стратегија.

Еден од најважните резултати од овие турнири е дека најдобриот резултат го покажала стратегијата *мило за драго*, при дополнителна претпоставка за кооперативност на почетокот („Ќе бидам добар, но за понатаму, како ќе се однесуваш ти кон мене – така и јас следниот пат кон тебе.“). Оваа стратегија се покажала подобра и од *златното правило* („Однесувај се кон другите како што сакаш тие да се однесу-ваат кон тебе.“). Малку подобра може да се покаже стратегијата *мило за драго со простување*. Имено, кога противникот дефектира, понекогаш играчот може сепак, со мала веројатност (од 0,01 до 0,05, зависно од составот на противници), да соработува во наредната рунда. Со тоа ќе се оневозможи запаѓање во циклус од дефектирања. Други карактеристики на добро котирачките стратегии се *фин* (играчот не дефектира прв), *одмазда* (возвраќање на дефектирања), *простување* (прекин на дефектирањето), *незавидливост* (не тежнеење кон најдобар вкупен резултат), [2].

3. СТОХАСТИЧКА ЗАТВОРЕНИЧКА ДИЛЕМА

Иако бесконечното повторување на игрите е корисна апстракција, сепак тоа подразбира драстично упростување на реалниот свет. Опкружени сме со динамични процеси кои се развиваат во текот на времето и чија природа може поверно да биде опишана со стохастичките игри. Тие претставуваат обопштување на повторените игри во смисла на менување на играта (добивките) во секоја рунда, согласно даден стохастички процес. Внесувањето на стохастички елемент кај повторената *ЗД* ја зголемува реалистичноста и дава поголеми можности за вклучување на околностите во емпириските тестови.

Во стохастичката *ЗД*, стратегиите подразбираат *веројатности за соработка*. Така, во средбата помеѓу А и В, стратегиите на А се изразени како множество на веројатности за соработка со В. Попрецизно, дадено е множество Р од вредности кои зависат од исходите во претходните средби на играчите, или од некое нивно подмножество. Ако Р е базирана само на нивните последни n средби, се нарекува *n-мемориска стратегија*. Така, 1-мемориската стратегија ќе се заснова на 4 веројатности за соработка, $P = (p_{ss}, p_{sd}, p_{ds}, p_{dd})$, за сите можни претходни исходи, каде p_{sd} на пример ја означува веројатноста дека А ќе соработува во претстоечката рунда ако претходниот исход бил sd (s – соработка, d- дефектирање). Ако секоја од овие веројатности е 1 или 0, тогаш стратегијата се нарекува *детерминистичка*. На пример, *мило за драго* ќе биде претставена со $P = (1, 0, 1, 0)$, што означува дека А одговара како што играл В во претходната рунда ако победил (ss или ds), но ја менува стратегијата ако загубил (sd или dd). Покажано е дека за секоја n-мемориска стратегија постои соодветна 1-мемориска стратегија која го дава истиот статистички резултат, па поради тоа доволно е да се разгледуваат само 1-мемориски стратегии ([11]).

Да претпоставиме дека стратегиите на А и В се дадени со $P = (p_{ss}, p_{sd}, p_{ds}, p_{dd})$ и $Q = (q_{ss}, q_{sd}, q_{ds}, q_{dd})$, соодветно. За А дефинираме матрица на транзиции М, во која елементот ij е веројатноста дека исходот од дадена средба меѓу А и В ќе биде j доколку претходниот исход бил i, каде i и j се еден од четирите можни исходи ss, sd, ds, dd. На пример, од стојалиштето на А, веројатноста дека исходот од сегашната рунда е sd ако претходниот исход бил sd, е еднаква на $M_{sd,sd} = p_{sd}\,(1 - q_{ds})$. Овде, индексот на q е во однос на В, т.е. sd исход за А е ds исход за В.

Под овие услови, итерираната *ЗД* може да се квалификува како *стохастички процес*, а М како *стохастичка матрица*, со што е овозможена примена на теоријата на стохастички процеси. Според резултатите на оваа теорија, за матрицата М постои стационарен вектор v така што $v \cdot M = v$. Без да изгубиме од општоста може да избереме нормализиран облик на v.

Елементот ij на матрицата M^n која е добиена со повторување од n рунди, ја дава веројатноста дека исходот од средбата меѓу А и В ќе биде j, под услов исходот пред n рунди да бил i. Кога n се стреми кон бесконечност, М ќе конвергира кон матрица со фиксни вредности кои ги опишуваат долгорочните веројатности за исход j, независно од i. Со други зборови, редиците на M^∞ ќе бидат идентични и ќе ги опишуваат веројатностите на долгорочниот еквилибриум на итерираната *ЗД*, без да има потреба од експлицитно оценување на голем број интеракции.

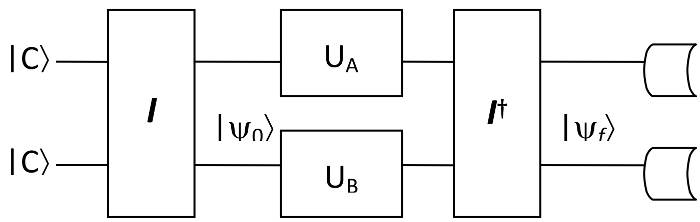
Може да се воочи дека v е стационарен вектор за M^n, а и во специјалниот случај и за M^∞, така што секоја редица на М ќе биде еднаква на v. Оттука, стационарниот вектор ги определува веројатностите на еквилибриумскиот исход за А. На пример, ако дефинираме краткорочни добивни вектори за исходите $(ss, sd, ds, dd)_A$ со S_A=(Н,Д,И,К) и S_B=(Н,И,Д,К), тогаш еквилибриумските добивки за А и В ќе бидат $u_A = v \cdot S_A$ и $u_B = v \cdot S_B$, со што двете стратегии P и Q ќе можат да се споредуваат согласно нивните долгорочни добивки.

4. КВАНТНА ВЕРЗИЈА НА ЗАТВОРЕНИЧКАТА ДИЛЕМА

Квантната теорија на игри е проширување на класичната теорија во квантниот домен, од која се разликува во три појдовни точки.

– претпоставка за суперпозиција на почетните состојби;
– претпоставка за квантна испреплетеност на почетните состојби;
– суперпозиција на стратегиите кои се користат во почетните состојби.

Одовде, играта се одвива согласно определени физички карактеристики на информацијата, односно трансферот на информации кој се случува за време на играта се посматра како физички процес. Имено, во наједноставниот случај на класична 2×2 игра секој играч може да користи бит (0 или 1) за да одбере стратегија – во *ЗД*, тоа е соработка или дефектирање (молчење или клеветење). Во квантната форма пак, битот е заменет со *кубит*, т.е. со квантна суперпозиција на две или повеќе основни состојби. Во игра со две стратегии, ова физички се имплементира со користење на некој ентитет, како на пример електрон, кој има суперпозиционирана спин-состојба со база +1/2 и −1/2. Секоја од спин-состојбите може да се користи за претставување на двете стратегии. Кога се врши мерење на електронот, тој влегува (колабира) во една од основните состојби со што ја определува стратегијата која ќе биде играна. На Слика 4 ова е прикажано преку едноставна квантна мрежа, во која одлуките на играчите се дадени во вид на дихотомни променливи ([7]).



Слика 4. *Квантна игра со двајца играчи*. Играта ***I*** е унитарен оператор познат на играчите. Почетната состојба е $|\psi_0\rangle = \boldsymbol{I}\,|CC\rangle$. Стратегиите, кои се соодветни на унитарните оператори U_A и U_B, се изведуваат на пар од кубити во $|\psi_0\rangle$. Стратешкиот простор S е подмножество од групата на унитарни 2×2 матрици.

Физичкиот модел на *ЗД* се состои од:

- извор на два бита, по еден за секој играч;
- множество од физички инструменти кои овозможуваат манипулирање на сопствениот бит на стратешки начин;
- направа за мерење која ја определува добивката согласно состојбата на двата бита.

Играчите имаат совршено знаење за секој од овие елементи (изворот, физичките инструменти и мерењето на добивката).

Множествата кубити за избор на стратегии кои на почетокот го добива секој од играчите, може да бидат испреплетени. Тоа значи дека секоја операција која ќе биде извршена врз еден од кубитите ќе влијае на останатите, со што ќе се промени очекуваната добивка. Изборот на стратегија се сведува на одлука за евентуално ротирање на кубитот во нова состојба, со што се менуваат веројатносните амплитуди за секоја од основните состојби. По правило, ваквите операции се унитарни трансформации на почетната состојба на кубитот, што е различно од класичниот случај во кој стратегиите се бираат согласно утврдени (статистички) веројатности.

Општо земено, внесувањето на квантна информација во игрите овозможува појавување на нов тип на еквилибриумски состојби, кои не се појавуваат во традиционалните игри. Испреплетеноста на одлуките може да создаде ефект на договор, така што ќе ги спречи играчите да профитираат од дефектирањето, [4].

Во квантниот модел на *ЗД*, играчите успеваат да ја избегнат дилемата со оглед на тоа што секогаш постои пар од квантни добивни стратегии кои се Нешов еквилибриум, при што постои квантна стратегија чија добивка е супериорна во однос на добивките на која било класична стратегија, [7].

5. *ЗД* ВО СОЦИЈАЛНИТЕ ДИЛЕМИ

Структурата на ЗД е дел од една поопшта група на парадоксални феномени познати како *социјални дилеми*. Накратко, социјална дилема е ситуација на конфликт помеѓу личната и колективната рационалност, во која групата има заедничка цел (исход) и секој нејзин припадник треба да одлучи дали да го даде својот придонес или не. Од аспект на теоријата на игри, социјалната дилема подразбира општествен модел на интеракција во кој некооперативната добивка за поединецот ја надминува кооперативната добивка во заедницата. Истовремено, ако поголемиот дел од заедницата не соработува, сите завршуваат со послаб резултат.

Во овие, како и во мноштво други примери на социјалните дилеми, ја забележуваме истата карактеристика воочена кај моделот на *Затвореничката дилема*: доминантната стратегија ги доведува играчите во инфериорна состојба односно, рационалната акција ќе доведе до послаб резултат. Освен овој, кај социјалните дилеми се забележуваат и други интересни модели на 2×2 игри кои се добиваат со менување на структурата на добивки. На пример, при И>Н>Д>К ја добиваме играта *Кукавица*, која исто така одговара на неколку ситуации од реалноста.

(*Кукавица* е често користено име за 2×2 игра каде, иако за двата играчи е полезно ако еден од нив се повлече, оптималниот избор на другиот играч зависи од она што го прави противникот: ако тој се повлече, тогаш другиот играч не треба да се повлече, и обратно – ако првиот се повлече, тогаш вториот не треба да го направи тоа. Ова, за разлика од *ЗД*, е пример за *антикоординациска* игра, во која делењето на заеднички ресурси е поврзано со одреден трошок. Во реалноста, често се илустрира со *трката на вооружување* каде опишува ситуација на „заемно обезбедено уништување“.)

Основниот проблем кај социјалните дилеми е во тоа што тензијата која се јавува помеѓу она што е краткорочно добро за поединецот (еднократна игра) и долгорочните интереси на групата (итерирана игра), може да дојде до израз дури во подоцнежните фази, кога негативното влијание веќе зело замав. Односите се усложнети поради диспропорционалното влијание на личниот удел во однос на личната добивка и придобивката за групата. На пример, да претпоставиме дека некој одлучил да вложи одредена сума за исплата на националниот долг. Таа сума може да значи многу за поединецот, но да е незначителна за државата. Значи, проблемот не е само во евентуалната себичност, туку во фактот што останатите припадници на заедницата добиваат малку од некој поединечен придонес, во споредба со истовремената лична загуба (трошок) на поединецот.

Во својата суштина, социјалните дилеми се екстремно вообичаени ситуации. Како модел на интеракција, може да се препознаат според следниве карактеристики:

– Иако за сите е подобро ако сите соработуваат (придонесуваат), за даден поединец е секогаш подобро да не соработува.
– Личниот придонес нема да влијае на конечниот исход.

Затвореничката дилема упростено, но впечатливо ја моделира оваа тензија, поради што е присутна во самиот фундамент на *теоријата на соработка*. Дури и кога не се работи за *ЗД*, речиси севкупната теорија на соработка користи елементи од (теоријата на) игри како појдовна точка во анализите ([3]).

Еден пример во кој се задоволени двата услова на социјалните дилеми се парламентарните избори. Имено, за сите е подобро ако сите излезат и гласаат на избори. Но, од индивидуално стојалиште, се чини дека еден глас нема да влијае на конечниот резултат, додека истовремено бара одреден влог од страна на поединецот. Оттаму е и називот *гласачкиот парадокс*. Чинот на индивидуалниот глас во оваа смисла може да изгледа ирационално. Тој има своја цена, а се чини дека не може значајно да влијае на изборните резултати. Иако може да полемизираме дека индивидуалниот глас може да биде пресуден за одредување на конечниот победник, сепак веројатноста за вакво нешто на кои било избори со разумна големина е исклучително мала, [8].

Во социјалната наука и философијата се смета дека гласачкиот парадокс е специјален случај на *ЗД*. Тој има слична добивна матрица (во која вториот играч се сите останати - заедницата), иако во реалноста проблемот е многу покомплексен. Делот на придонесот најдобро е илустриран со гласачкиот процес. Делот на повлекување (негласање) може да се илустрира со таканаречената *Трагедија на сличните*, игра во која одделни поединци прават прекумерни повлекувања на заеднички средства. Овој аспект често се нарекува и *бесплатно користење* (freeloading) или *бесплатно возење* (freeriding).

(*Трагедијата на сличните* се однесува на ситуација во која заеднички ресурси се прекумерно употребувани, иако корисниците знаат дека прекумерната употреба ќе доведе до нивно губење. За разлика од *ЗД* каде што не постои комуникација, овде комуникацијата е дозволена, но тоа не го спречува непосакуваниот исход.)

6. ЗАКЛУЧОК

Нешовиот еквилибриум, дури и во неговиот категоричен облик од доминантни стратегии како кај *Затвореничката дилема*, не секогаш е и најдобрата можна опција за инволвираните страни. Интензивните проучувања, многубројните надградби, различниот пристап во анализата на *ЗД*, се чини дека не го дале потребниот увид во произлезениот парадоксот на рационалното дејствување. Некои од пристапите покажале делумен успех, многу од нив биле целосно неуспешни. Како и кај бројните повторувачки шеми на социјалните дилеми кои се дел од секојдневието, се чини дека и овде не може да се издвои некое очигледно, техничко решение.

Кога зборуваме за социјалните дилеми, пред сè треба да го разбереме влијанието на нормативните, моралните и алтруистичките аспекти, кои заедно со надворешната добивка влијаат на однесувањето на поединците. Тие треба да имаат причина за верување дека останатите нема да дефектираат, односно дека апсолутната добивка од кооперативното однесување на крајот ќе надвладее, без разлика што моменталната ситуација го фаворизира дефектирањето. Соочени сме со ситуација во која, рационално, поединецот треба да дефектира (паразитира), но за сите е полошо ако двата субјекти (и поединецот и остатокот од општеството) го направат тоа. Останува прашањето: како да се надмине ранливоста индуцирана од постоењето на подобар исход за сите, кога веќе е познато дека таков исход постои?

Во поголемите групи, парадоксот може да исчезне ако личноста е директно наградена или казнета за своите акции. Тоа подразбира дополнителна стратегијата за бришење или намалување на групната компонента во равенката за трошоци и бенефиции. Но, ова не е секогаш можно. Иако постојат различни дејства кои можат да го ублажат проблемот, највeтувачкото и најопшто решение е добро познато и има долга историја: моралноста.

Кога би можело да се утврди дека соработката е морално нешто и кога би ги убедиле сите (или барем повеќето) дека треба да бидат морални, тогаш проблемот би бил решен. Луѓето ќе гласаат, политичарите нема да крадат, околината нема да се загадува. Дали човековото општество е направено така што, ако сака да преживее, неопходно е да биде морално? Ова би била нерелигиозна, рационална основа на моралноста, со моќна порака: или ќе соработуваме или ќе се соочиме со целосно уништување на цивилизацијата, онаква како што ја знаеме, [14].

ЛИТЕРАТУРА

[1] G.Ainslie, *Breakdown of Will*, Cambridge University Press, 2001.

[2] R.Axelrod, *The Evolution of Cooperation*, Basic Books, 1984.

[3] R.Axelrod, *On Six Advances in Cooperation Theory*, Analyse & Kritik, 22, July 2000, 130–151.

[4] C.S.Benjamin, P.M.Hayden, *Multiplayer quantum games*, Physical Review A, 64 (3): 030301, American Physicam Society, 2001

[5] K.P. Corfman, D.R.Lehmann, *The prisoner's dilemma and the role of information in setting advertising budget*, Journal of Advertising, Jun 1994.

[6] R.M. Dawes, *Formal Models of Dilemmas in Social Decision-making*, Human Judgment and Decision Processes, ed. M. F. Kaplan and S. Schwartz (Academic Press, New York), 1975.

[7] J. Eisert, M. Wilkens, M. Lewenstein, *Quantum Games and Quantum Strategies*, Phys.Rev.Lett.83:3077,1999.

[8] G.Brennan, L. Lomasky, *Democracy and decision*, Cambridge University Press, New York, 1993.

[9] K.Haugen, *The Performance-Enhancing Drug Game*, Journal of Sports Economics - J SPORT ECON. 5, 2004, 67–86.

[10] N. Martin, K.Sigmund, *A strategy of win-stay, lose-shift that outperforms tit-for-tat in the Prisoner's Dilemma game*, Nature 364 (6432), 1993, 56–58.

[11] WH. Press, FJ. Dyson, *Iterated Prisoner's Dilemma contains strategies that dominate any evolutionary opponent*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 109 (26): 10409–13, 2012.

[12] D.R Robinson, D.J.Goforoth, *Alibi games: the Asymmetric Prisoner's Dilemmas*, Meetings of the Canadian Economics Association, Toronto, June 4-6, 2004.

[13] B.Spangler, *Positive-Sum, Zero-Sum, and Negative-Sum Situations. Beyond Intractability*. Eds. Guy Burgess and Heidi Burgess. Conflict Information Consortium, University of Colorado, Boulder, 2003.

[14] L.Felkins, *A Rational Justification for Ethical Behavio*r, http://perspicuity.net/common/moral3.html

[15] *Playing games with the planet*, http://www.economist.com/node/9867020

[16] *Game theory suggests current climate negotiations won't avert catastrophe*, https://www.sciencenews.org/article/game-theory-suggests-current-climate-negotiations-won%E2%80%99t-avert-catastrophe

[1] Воена академија „Генерал Михаило Апостолски“
Васко Карангелески бб, (1000) Скопје, Р. Македонија
e-mail: nevena.serafimova@gmail.com

Примен: 26. 02. 2018
Поправен: 19. 03. 2018
Одобрен: 20. 03. 2018

Објавен на интернет: 28.08.2018