

Еконофизика – допринос физичара развоју економске мисли

Зоран Томић

Универзитет у Нишу
Економски факултет
Докторске студије
zoranzoca@gmail.com

Апстракт: *Интердисциплинарност је данас јако важна и нема научне области где није присутна. Занимљиво је да и у свету економије постоји интердисциплинарност која спаја неспојиво, тј. еконофизика. Еконофизика је интердисциплинарна област истраживања где се примењују знања и методи из физике за истраживања феномена и појава у сфери економије. У овом раду аутор је покушао да укратко представи еконофизику која под тим називом постоји од 1995. године и све већи број истраживача се бави њоме. Такође, приказани су и конкретни примери примене знања из физике у економији, којима се и сам аутор бавио.*

Кључне речи: *еконофизика, Њутнов закон хлађења, монетарна економија, термодинамика*

1. Увод

Економија је научна дисциплина која проучава основна правила понашања учесника и законитости у економским активностима. Предмет изучавања економије је подељен на две главне области: микроекономију која проучава привредне субјекте (домаћинства и предузећа) са становишта трошкова производње, и макроекономију која се бави изучавањем појава и процеса као што су: инфлација, незапосленост, индустријска производња и економија државе. За њу је карактеристично да је математика доста заступљена, највише од свих друштвених наука. Економисти, као и математичари, решавају проблеме тиме што крећу од претпоставки и теорија као основе. Након тога развијају моделе, покушавају да опишу појаве које посматрају и протумаче резултате који се добијају, наравно све на основу теорија и претпоставки од којих се кренуло. Ко мало боље познаје економију, може да примети да постоје елементи (које студенти на факултетима уче) економске теорије, али у пракси се не могу применити. Пример јесте тржиште савршене конкуренције. За овај модел је карактеристично да у пракси не постоји, али економисти га користе као основ за побољшање функционисања самих тржишта. Још један пример јесте тржиште хартија од вредности. Ма колико је математика заступљена у економији, као и у статистици, тренутно се не може пронаћи најбољи модел који ће се применити за предвиђање кретања берзанских индекса.

Процеси који се одигравају у економији су стохастични зато што је функционисање економије као система одређено понашањем економских субјеката. Иако се понашање појединаца не може предвидети или подвести под одређене законе, као у природним наукама, ипак се понашање групе економских субјеката може подвести под детерминистички процес. Из овога следи да се поједини феномени у економији ипак могу представити у облику закона, слично онима у природним наукама. Једна од области које се баве истраживањем

економије и формулисањем оваквих модела је еконофизика. Еконофизика је интердисциплинарно поље истраживања које је у експанзији последњих двадесетак година. Циљ јесте да се примене идеје и закони из природних наука (пре свега физике) за опис и проучавање појава у економији. Обиље података који постоје у економији, којима се прате кретања основних економских индикатора (као што су БДП, стопа инфлације, монетарни агрегати, дистрибуција богатства, итд.) разлог је да се све већи број физичара укључује у проучавање економских феномена. Највећи број њих окренут је ка проучавању финансијских тржишта и проблему дистрибуције богатства. Од алата из физике највише се користе знања из статистичке физике, термодинамике, квантне механике, динамике флуида, теорије хаоса итд.

Циљ овог рада јесте да се читаоцима укратко представи еконофизика као интердисциплинарно поље истраживања које је своју популарност доживело средином 90-их година прошлог века и током почетка 21. века. Такође, у раду ће бити представљени и резултати које је аутор остварио на овом пољу истраживања, пре свега у домену примене термодинамике у монетарној економији.

2. Кратка историја еконофизике

Еконофизика се може дефинисати као интердисциплинарно поље истраживања које примењује методе и теорије оригинално развијене од стране физичара ради проналажења адекватног решења проблема у економији, посебно за оне који се односе на нелинеарну динамику и стохастичне процесе¹. Еконофизика је важна област пре свега у финансијској економији. Примена физике у финансијским тржиштима често се посматра као статистичке финансије које вуку корене из статистичке физике².

¹ Dincer, I. (2007.) *Exergy: Energy, Environment, and Sustainable Development*, Boston: Elsevier, стр. 23.

² Bali S., (2011.) „Econophysics, Thermoeconomics and Phynance“, *The Journal*

Еконофизика и примена физике у економији отворила је бројне могућности за даља истраживања у области финансија пре свега, али и у другим областима економије, са циљем да се дође до бољег разумевања појава које се свакодневно одигравају у економским системима. Поставља се питање како, зашто и када је дошло до укључивања физике и физичара у економију?

Данашње доба је доба глобализације, глобалне финансијске нестабилности, доба карактеристично по изузетној динамичности економских система, експанзији кредита, инфлације, финансијских инструмената који се користе за креирање новца и који су нажалост лоше регулисани од стране централних банака. Стандардна економска теорија не може на најбољи начин објаснити ове појаве. Управо је недостатак економије да објасни одређене појаве довео до појаве еконофизике, тј. жеље физичара да боље схвате економију као систем и њене појаве. Еконофизика као дисциплина настала је средином 90-их година прошлог века, као напор физичара који се баве пре свега статистичком механиком. Они су покушали да дају одговоре на комплексне проблеме у економији, пре свега из финансијских тржишта и финансија. Они су услед незадовољства објашњењима датим од стране економиста, применили методе и алате из физике за њихово решавање.

Ово не значи да пре тога није било покушаја да се примене знања из физике у економији или да се физичари нису бавили проблемима у економији. Неки од људи, попут Адолфа Куетелета (1796–1874), Леона Варласа (1834–1910.), Вилфреда Парета (1848–1923.), Роберта Гибрата (1904–1980) и Ирвинга Фишера (1867–1947) су се бавили проблемима у економији али су по свом образовању били физичари или инжењери. Зачеци еконофизике могу се видети још у периоду хладног рата, тачније 1958. године са открићем Гаусовог модела стопе повраћаја на берзи (логнормал модел цена). Распад СССР-а, увођење финансијских инструмената, отва-

of International Social Research, Vol.4, Issue: 18, Yaz, стр. 380.

рање кинеске економије за стране инвеститоре, период дерегулације и приватизације отворио је пут физичарима у свет економије и финансијских тржишта. Разлог је постојање потребе за моделовањем и анализом података у области финансија, која је за њих изазовна и интересантна³.

Финансије су за физичаре постале јако занимљиве, услед велике базе података која постоји. Од 19. века прикупљају се подаци на дневној основи. Од 1984. године прикупљају се подаци са узорковањем на период мањи од 1 минута. Од 1993. године бележе се све трансакције⁴. Сама статистичка анализа ових података је значајна за фундаментално разумевање тржишне динамике и због прављења портфолија, процене ризика итд.⁵. Испоставило се да традиционалне методе које економисти користе у својим анализама нису довољне за адекватну анализу садашњих тржишта. Многи модели се базирају на тржиштима на којима се успоставља равнотежно стање, док данашња тржишта карактерише изузетна стохастичност и стање које је далеко од равнотежног.

Еконофизика је израз који је сковао Јуџин Стенли средином 90-их година. Циљ је био да се једним изразом обухвати и опише велики број радова статистичких физичара који се односе на тржишта хартија од вредности, који су се први пут појавила на конференцији статистичких физичара у Калкути 1995. године. У 1998. години организована су окупљања еконофизичара у Будимпешти од стране Имре Кондор и Јаноша Кертеза. У данашње време се одржава велики број серија окупљања еконофизичара⁶.

За сада се радови из области еконофизике објављују само у часописима из физике. Чак се, по аутору Рохнену, за почетак постојања еконофизике сматра тренутак од кад су први радови из ове области публиковани. Од тог периода сматра

³ Исто, стр. 7.

⁴ Радовић О. (2011.), *Еконофизика*, Презентација, Економски факултет у Нишу, Ниш

⁵ Исто

⁶ Bali S., (2011.), „Econophysics, Thermoeconomics and Phynance“, *The Journal of International Social Research*, Vol.4, Issue: 18, Yaz, стр. 380–381.

се да је настала институционализована еконофизика⁷. Еконофизичари нису прихваћени у свету економије. На њих се гледа као на дисиденте или конкуренцију⁸. Економисти сматрају да физичари не знају исправно посматрати феномене који се дешавају у свету економије и да често откривају законитости које су економисти већ открили. Због тога је, да би се даље унапредило знање из сфере економије и омогућило да се утврде праве законитости, потребна блиска сарадња између физичара и економиста у истраживањима феномена.

У наставку рада биће укратко презентовани примери примене закона и знања из физике у сфери економије.

3. Примена термодинамике у економији

Један од елемената физике који је нашао значајну примену у економији јесте термодинамика. Чак су многи аутори тврдили да је основа квантитативне теорије новца и једначина коју је Ирвинг Фишер први применио, заправо настала под утицајем термодинамике, тј. једначине идеалног гасног стања. Фишеров ментор био је Вилард Гибс, оснивач теорије о хемијској термодинамици. Ако погледамо и упоредимо једначине о којима говоримо, заиста може да се види међусобна сличност.

$$M \cdot V = P \cdot T \quad (1)$$

$$pV = nRT \quad (2)$$

Прва наведена једначина је добро позната ФишEROVA формула. Наиме, по квантитативној теорији новца, новчана маса помножена са брзином оптицаја новца једнака је цени робе и количини робе која је произведена. Заправо, може се рећи да у привреди не треба да буде у оптицају количина новца која је једнака вредности остварене произведене робе или

⁷ Roehner B., (2010.), *Fifteen years of econophysics: worries, hopes and prospects*, <http://arxiv.org/pdf/1004.3229v1.pdf>, стр. 4.

⁸ Исто, стр. 6.

БДП-а, већ је због брзине оптицаја новца (брзина оптицаја новца нам говори колико се пута у току једне године једна новчана јединица промеће) потребна мања количина новца. Ова једначина је дала значајан допринос развоју економске мисли, али многи су је критиковали да је статичка, а не динамичка и данас многи аутори погрешно претпостављају да је Фишер мислио да је брзина оптицаја новца константна величина, а заправо није.

Друга једначина је једначина идеалног гасног стања која гласи да је производ притиска и запремине одређене супстанце једнак производу броја молова и температуре у којој се супстанца налази и универзалној гасној константи. Ово је класична једначине идеалног гасног стања.

У термодинамици, прави се разлика између динамичких и статичких система. За статичке системе (нпр. балон) генерално, број честица је константан са притиском и запремином који су у функцији промене температуре. За динамичке системе (нпр. гасна турбина), број честица се мења са временом, уз одговарајући проток гаса, тј. запремина зависи од времена. У оба случаја Болцманова константа остаје непромењена. Разлика се такође прави и између отвореног и затвореног система. У затвореном систему могуће је да енергија пређе границе система само у облику топлоте, док материја то не може учинити, јер систем не интерреагује са спољном средином. У отвореном систему, ипак, топлота и материја прелазе границе система и долази до интеракције са спољном околином.

У динамичком термодинамичком систему, једначина гасног стања се добија када се обе стране једначине (2) поделе са бројем честица система (који се у овом случају мења са временом) и добија се

$$Pv = kT \quad (3)$$

где је $v = V/N_i$ специфична запремина гаса по једном молекулу, и то је инверзна вредност густине гаса, а k Болцманова константа. Овај приказ једначине гасног стања поједноста-

вљује анализу динамичког система, пошто варијабла v остаје независна од времена, док су запремина и број честица биле зависне од времена, па се овде време поништава.

Када упоредимо ове две једначине, можемо видети да су сличне и да су аутори заправо само искористили аналогију између система које посматра термодинамика и економског система. У свом раду Брајант Џ.⁹ је сачинио идеалну једначину новца помоћу које је покушао и успео да опише функционисање економског система, са аспекта квантитативне теорије новца. Економски модел (идеална економска једначина) може се конструисати слично једначини идеалног гаса која је приказана у формули (3).

Форма једначине идеалног гасног стања и идеалне економске једначине поседују одређене сличности, са дефинисаним еквивалентима који су дати у следећој табели:

Табела бр.1 – Табела дефинисаних еквивалената једначине гасног стања и идеалне економске једначине

Појам Симбол	Економија	Термодинамика
p	Ниво цена	Притисак
T	Брзина оптицаја (индекс вредности трговине)	Температура
V	Количина робе/потрошње	Запремина
N	Број носилаца вредности	Број честица
k	Отелотворена вредност (продуктивни садржај)	Болцманова константа
v	Специфична стопа протока робе	Запремински проток

Извор: аутор рада

⁹ Bryant J. (2012.), *Thermoeconomics - A Thermodynamic Theory of Economics*, VOCAL International Ltd, 7.

На основу параметара из табеле 1 може се конструисати идеална једначина новца која се може применити у монетарној економији и која би гласила –

На основу идеалне једначине економског система која је дата у релацији (3) може се извести идеална економска једначина за новчани систем:

$$P_m V_z = N_m k_m T_m \quad (4)$$

где је P_m ниво цена, V_z је количина произведених производа, N_m број новчаних инструмената у оптицају, K_m номинални монетарни стандард (долар, фунта, динар,...) и T_m је брзина оптицаја новца¹⁰.

Џон Брајант је понудио и други начин да се реши проблем броја варијабле. Наиме, може се са леве стране једначине извршити дељење нивоа цена са количином новца у оптицају и тиме се добије параметар специфична цена $P_N = P/N$. На тај начин идеална економска једначина за новчани систем може се записати у два нова облика:

$$P_N V = kT \quad (5)$$

$$V = N_p kT \quad (6)$$

Промена у брзини циркулације новца T може се променити или услед промене специфичне цене P_N , или услед промене количине производње V или истовременом променом обе варијабле. До промене неће доћи ако је промена специфичне цене избалансирана са променом количине производње.

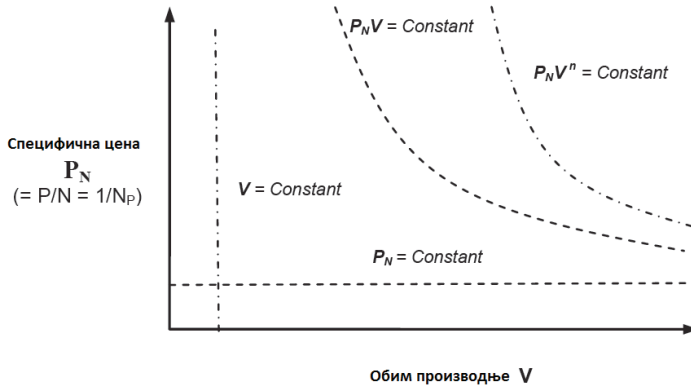
Последњи могући однос између специфичне цене и обима производње јесте политропски случај ($P_N V^n = \text{Constant}$), који у себи садржи индекс еластичности n , који омогућава да се опишу комплекснији случајеви промена односа вредности четири варијабле у овом моделу.

Политропска једначина ($P_N V^n = \text{Constant}$) може се прилагодити да задовољи све могуће процесе. Ако је $P_N = \text{Constant}$

¹⁰ Исто, стр. 118.

онда је индекс еластичности $n=0$, ако је обим производње непромењен, тј. $V=\text{Constant}$, онда је индекс еластичности $\pm\infty$. Изотржишни процеси ($P_N V = \text{Constant}$) имају индекс 1, где у овим процесима не долази до промене брзине оптицаја T .¹¹

Слика 1 – Графички приказ односа специфична цена - обим производње



Извор: Bryant J. (2010.), *A Thermodynamic Approach to Monetary Economics – A Revision An application to the UK Economy 1969–2006 and the USA Economy 1966–2006*, <http://www.vocat.co.uk/TEN5A2010.pdf>

Аутор је формулу успешно применио на примерима САД-а и УК и показао да овај модел добро описује начин дистрибуције новца и брзину његовог кретања. Аутор овог рада је тај модел применио на примерима САД-а, УК, Индије, Шведске и Србије, где је такође потврђено поклапање емпијских података са математичким моделом који је описан¹².

4. Њутнов закон хлађења

Када се топла тела оставе на отвореном, она почињу постепено да се хладе. Исак Њутн је открио да је дина-

¹¹ Исто, стр. 126.

¹² Đurović Todorović J., Tomić Z., (2013) *Application of Ideal Gas Equation in Monetary Economics*, Improving the Competitiveness of Enterprises and National Economies – Factors and Strategies, Niš pp. 89–111.

мика хлађења пропорционална вишку температуре тела у односу на температуру окружења. Ова опсервација се назива Њутнов закон хлађења. Није познато да ли је Њутн покушао да овај феномен опише у теоријском смислу, али до овог закључка је дошао експерименталним путем¹³.

Њутнов закон хлађења се математички може показати као промена вредности температуре тела по времену:

$$\frac{dT}{dt} = k \cdot (T - T_0) \quad (7)$$

где је T температура посматраног објекта у временском тренутку, t представља временски тренутак, T_0 представља температуру окружења и k је константа пропорционалности која нам говори о динамици хлађења/загревања тела.

$$T = Ae^{kt} + T_0 \quad (8)$$

Једначина (3) представља коначан облик формуле која описује хлађења и загревања тела. Параметар A је константа, тј. $A = e^c$. Ако је вредност константе пропорционалности (k) мањи од нуле, онда овај параметар описује процес хлађења тела које се налази у окружењу чија је температура T_0 све док се температура тела не изједначи са температуром окружења. Ако је вредност коефицијента пропорционалности већа од нуле, тада се описује процес загревања тела у времену¹⁴.

Њутнов закон хлађења данас заокупља велику пажњу бројних физичара који се баве проблемом проводљивости топлоте¹⁵, али и економиста и еконофизичара који у својим истраживањима траже могућу примену овог закона у економији. У својим истраживањима еконофизичари и економисти се пре свега баве применом наведеног модела у циљу утврђивања дугорочног тренда кретања вредности економ-

¹³ Desai D. A. (2006.), "Newton's Law of Cooling", *Physics Education*, Vol.23, No.1, стр. 51.

¹⁴ Lewis M., (2010.), „The Physics of Inflation: Newton's law of cooling and Consumer Price Index“, *Journal of Applied Quantitative Methods*, Volume 5, 2010., 107.

¹⁵ Vollmer M. (2009.), "Newton's law of cooling revisited", *European Journal of Physics*, Vol. 30 No.5, pp. 1063 –1084.

ских индикатора који би могли да послуже као додатни индикатори за успешније вођење економске политике и доношење добрих пословних одлука. Мајкл Луис¹⁶ је у свом раду обрадио проблем примене Њутновог закона хлађења за опис кретања инфлације на дуги рок, тј. за предвиђање кретања ЦПИ индекса, као једног од показатеља инфлације. Аутор је на основу овог модела описао кретање ЦПИ индекса у САД-у за период од 1913. до 2008. године и дао предвиђање кретања за првих шест месеци у 2009. години.

Апостролс Г. и Василис З.¹⁷ у свом раду су описали примену Њутновог закона хлађења за кретање берзанских индекса Атинске берзе за неколико периода трговања. Гкранас А., Рендумис В. и Полатоглу Х. су у свом раду¹⁸ описали примену Њутновог закона хлађења за кретање берзанских индекса на примеру Атинске и Лисабонске берзе и представили аналогију између трговања на наведеним берзама са термодинамичким процесима, тј. процесима наглог загревања и хлађења са трговањем на берзи.

Аутор овог рада је у претходном периоду истраживао о примењивости Њутновог закона хлађења у сегменту монетарне економије и финансијског тржишта и у наставку биће приказани начини примене овог закона у области монетарне економије који се односи на проблем инфлације и монетарних агрегата, као и на сегмент финансијских тржишта, тј. динамику кретања берзанских индекса.

¹⁶ Lewis M. (2010.), „The Physics of Inflation: Newton’s law of cooling and Consumer Price Index“, *Journal of Applied Quantitative Methods*, Volume 5 No.1, pp. 105–112.

¹⁷ Zarikas V., Christopoulos A. G., Rendoumis V. L. (2009.), “A Thermodynamic Description of the Time Evolution of a Stock Market Index”, *European Journal of Economics, Finance and Administrative Sciences*, Issue 16, pp. 73–83.

¹⁸ Gkranas A., Rendoumis V. L., Polatoglou H. M. (2003.), “Athens and Lisbon Stock Market: A thermodynamic approach”, *WSEAS International Conferences*, World Scientific and Engineering Academy and Society, Athens, Greece, 29–31 december.

4.1. Инфлација и монетарни агрегати

Инфлација је последица постојања одређених неравнотежа у привреди. Манифестује се растом цена и падом вредности новца. Инфлација се може дефинисати као континуирани раст општег нивоа апсолутних цена или континуирани пад вредности новца¹⁹. Многи аутори су на различите начине дефинисали инфлацију покушавајући да у дефиницији дају што исцрпнији опис инфлације са њеним последицама. Аутор овог рада издваја дефиницију професора Хамида Филиповића која гласи: „Инфлација је економско-финансијска појава, изазвана поремећајима равнотеже у факторима производње, а као њена последица настаје повећање новчаног оптицаја емисијом новчаница и кредитног новца без одговарајућег покрића у металу или производима, што се одражава на прераспodelу националног дохотка на штету сиромашнијих, а у корист имућнијих друштвених класа“²⁰.

Проблем инфлације окупира велики број научника који покушавају да дођу до спознаје суштине како она настаје и како се борити са њом. Свака инфлација која се догодила је специфична и јединствена тако да је велики задатак пред научницима. Једна од идеја за проучавање динамике инфлације јесте и примена Њутновог закона хлађења. Она се може мерити на различите начине, а данас се углавном узима мера ЦПИ, односно индекс потрошачких цена и модел који примењујемо у овом случају изгледа:

$$P = Ae^{kt} \quad (9)$$

где је A почетни ниво цена, P ниво цена, t време, k коефицијент пропорционалности који говори о динамици кретања цена. За емпиријско испитивање користиће се логаритмована верзија релације (5), тј.

¹⁹ Ђуровић Тодоровић, Ј. (2010.), *Монетарна економија*, Економски факултет у Нишу, Ниш, 334.

²⁰ Исто, стр. 335.

$$\ln P = \ln A + kt \quad (10)$$

Луис је емпиријску верификацију овог модела урадио на примеру кретања ЦПИ индекса у САД-у у периоду од 1913. до 2008. године. У својој анализи користио је укупно 1164 тачака. Подаци су фитовани коришћењем методе најмањег квадрата и за вредност коефицијената детерминанције (R^2) добијена је 0,92, а добијене вредности параметара су $A=7$ и $k=0,003$.

Аутор овог рада је овај модел применио на примеру САД-а, Шведске, Уједињеног Краљевства, Индије, Европске монетарне уније и Србије, где је потврђено да се применом овог модела може утврдити динамика кретања инфлације у дугом року. Добијене вредности су приказане у наредној табели

Табела бр. 2 – Добијене вредности параметара за идеалну економску једначину новца

РБ	Земља	Кретање ЦПИ индекса		
		C	n	R^2
1	САД	1,45(4)	0,91(2)	0,98
2	Шведска	1,18(4)	1,73(6)	0,96
3	Индија	8,3(4)	1,45(2)	0,99
4	Уједињено Краљевство	4,0(3)	1,69(9)	0,94
5	Србија	4,7(1)	3,5(2)	0,97

Извор: Аутор рада обрадио податке, док су подаци коришћени за САД сајт ФЕД (<https://www.federalreserve.gov/>), Шведска – сајт Шведске централне банке (<https://www.riksbank.se/en-gb/>), Индија – сајт Централне банке Индије (<https://www.rbi.org.in/>), Уједињено Краљевство – сајт Банка Енглеске (<https://www.bankofengland.co.uk/>) и Србија – сајт Народне банке Србије (<http://nbs.rs/internet/cirilica/index.html>).

На основу анализе и добијених вредности за коефицијенте детерминације, може се закључити да модел у дугом року одлично описује промене вредности између наведених параметара.

Сличан модел се примењује и по питању одређивања вредности монетарних агрегата. Пре него што кренемо на опис модела, треба да читаоце упознамо са тим шта су то монетарни агрегати. Монетарни агрегати представљају термин којим се обухватају различите групе финансијских инструмената, тј. новац и друга финансијска средства слична новцу. Монетарни агрегати заправо представљају монетарне индикаторе који служе за одређивање квалитета и функција новца у привреди, али и за вођење монетарне политике и политике ликвидности привреде и других сектора²¹.

Ако привреду упоредимо са живим организмом, новац можемо поистоветити са крвљу у том организму. Крв игра значајну улогу у функционисању организма (нпр. преноси кисеоник до других органа). Јако је битно да сви органи имају довољну количину кисеоника у себи и да добијају адекватну количину крви. Тако је и у привреди, да би она могла успешно функционисати, потребно је да у оптицају буде довољна количина новца која ће подмирити све потребе економских субјеката, како би они могли да обављају своје задатке и да привреда може обавити проширену репродукцију. Носиоци монетарне политике имају задатак да врше сталну контролу количине новца која се налази у оптицају (не само папирног и кованог новца, већ и других облика новца). Треба водити рачуна и да се на адекватан начин врши пласирање средстава у привреди, а приликом емисије. Да би све напред наведено могло да се контролише, у привреди су потребни квантитативни показатељи који ће давати сигнале носиоцима монетарне политике које мере и инструменте и у којој ситуацији треба применити.

За овај сегмент примењен је исти модел као за инфлацију, само што су параметри у формули: A почетни ниво монетарног агрегата, P ниво монетарног агрегата, t време, k коефицијент пропорционалности који говори о динамици кретања монетарног агрегата. У наредној табели су приказане вредности за посматране земље након извршене анализе.

²¹ Исто, стр. 109.

Табела бр. 3 – Добијене вредности параметара Њутновог закона
клађења за кретање монетарних агрегата

Рбр.	Монетарни агрегати	Параметри модела	Земље						
			САД	Шведска	ЕМУ	Индија	Уједињено Краљевство	Србија	
1	M0	A	-	30(2)	-	-	-	119(1)	-
		k	-	0,0615(9)	-	-	-	0,00529(4)	-
		R ²	-	0,97	-	-	-	0,97	-
2	M1	A	89,8(9)	-	97,7(5)	48(3)	-	-	143(3)
		k	0,00451(3)	-	0,0633(2)	0,129(2)	-	0,0111(3)	
		R ²	0,98	-	0,99	0,99	-	0,91	
3	M2	A	111(1)	-	111,6(5)	51(3)	-	-	148(4)
		k	0,00558(3)	-	0,00526(2)	0,126(2)	-	0,145(4)	
		R ²	0,98	-	0,99	0,99	-	0,91	
4	M3	A	104(2)	79(4)	115,6(7)	49(3)	-	-	134(4)
		k	0,00651(4)	0,641(6)	0,00554(3)	0,149(2)	-	0,0198(3)	
		R ²	0,98	0,99	0,99	0,99	-	0,96	
5	M4	A	-	-	-	-	127(1)	-	-
		k	-	-	-	-	0,0714(5)	-	-
		R ²	-	-	-	-	0,98	-	-

Извор: Аутор рада обрадио податке, док су подаци коришћени за САД сајт ФЕД (<https://www.federalreserve.gov/>), Шведска – сајт Шведске централне банке (<https://www.riksbank.se/en-gb/>), Европска монетарна

унија са сајта Еуростат (<http://ec.europa.eu/eurostat>), Индија – сајт Централне банке Индије (<https://www.rbi.org.in/>), Уједињено Краљевство – сајт Банка Енглеске (<https://www.bankofengland.co.uk/>) и Србија – сајт Народне банке Србије (<http://nbs.rs/internet/cirilica/index.html>).

На основу резултата који су приказани можемо видети да се Њутнов закон хлађења може применити у сфери монетарне економије за опис динамике промена монетарних агрегата и инфлације. У наредним истраживањима треба радити на унапређењу модела који би омогућио да се предвиде и узроци краткорочних осцилација вредности од тренда које овај модел предвиђа, а све је то заједнички задатак економиста и физичара у будућим истраживањима.

Аутор је, поред наведених земаља, истраживао и утицај на Хрватску и Србију са новијим подацима и тај рад је у поступку публикаовања и биће објављен у марту 2018. године²². Више о самој овој проблематици и моделу можете прочитати у том раду.

4.2. Берзе

Као што је у уводном делу рада споменуто, једна од области којом се физичари највише баве јесу берзе. Берзе пружају могућности да се највише истражују, а због обилне количине података коју поседују и која се сваким даном добија. Због тога физичари покушавају да креирају моделе којима могу да опишу динамику кретања берзанских индекса и да предвиде неке од догађаја, као што је пуцање „балона” цена на берзи, опоравак берзе, кретање индекса итд. Као што смо видели, постоје радови на ову тему, али у смислу примене Њутновог закона хлађења. Подстакнут тим радовима, аутор овог текста је покушао да примени Њутнов закон хлађења на кретање берзанских индекса Београдске берзе. У раду²³ је примењен следећи модел:

²² Đurović Todorović J., Tomić Z., Denić N., Petković D., Kojić N., Petrović J., Petković B., “Applicability of Newton’s law of cooling in monetary economics”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 494, pp. 209–217.

²³ Tomić Z., Stojković A., *Primen a Njutnovog zakona hlađenja na berzanske indekse*, 20. DQM међународна конференција, зборник радова, Пријевор, 2017,

$$\ln(\Delta T) = \ln(A) + kt \quad (11)$$

На основу анализе, добијене су следеће вредности параметара:

Табела бр.4 – Добијене вредности параметара

Параметри	Белекс15	Белекслајн
A	1309±3	596±2
k	$(9,5\pm 0,2)\cdot 10^{-4}$	$(9,4\pm 0,2)\cdot 10^{-4}$
R ²	0,90	0,89

Извор: Аутор рада обрадио податке, а подаци добијени са сајта Београдске берзе (<http://www.belex.rs/>).

На основу добијених података из табеле бр. 4 можемо видети да је у посматраном периоду за оба индекса постојао растући тренд, што значи да се систем налази у фази загревања. Вредности Белекс15 индекса су веће од Белекслајн, што је везано за хартије од вредности које чине основу за мерење вредности посматраних индекса. Такође, можемо видети да је у оба случаја брзина раста индекса, која се мери параметром k, слична и да се на основу посматраног модела може описати 90% односно 89% посто објашњења за кретање посматраних параметара. То нам говори коефицијент детерминације.

На основу извршене анализе видимо да се Њутновим законом хлађења може описати динамика кретања индекса на примеру Београдске берзе.

5. Будућа истраживања и закључак

Као што смо могли да видимо у тексту, еконофизика је интердисциплинарно поље истраживања које покушава да применом знања и алата из физике што боље проучи појаве у свету економије. Ова област постоји тек нешто више од 20 година под овим називом, али постоји пуно примера у

историји где су физичари и инжењери дали велики допринос развоју економије као науке. Ова област може дати велики допринос да се појаве и феномени са којима се сваки дан сусрећемо што боље опишу, схвате и контролишу помоћу математичког апарата који се користи. Иако постоји доста критика упућених овој области, само уз међусобну сарадњу физичара и економиста може се у будућности доћи до даљих открића и унапређења знања у овој области. У будућности ће се акценат у истраживањима ставити на финансијска тржишта, на анализе самих друштава као што је демографија и слично.

У овом раду аутор је покушао кроз неколико практичних примера да покаже примењивост одређених закона из физике у свету економије. Конкретно, у овом раду приказана је примена закона из термодинамике у сфери економије, тј. једначине идеалног гасног стања за праћење промене вредности у количини новца, брзини њеног оптицаја и Њутновог закона хлађења за анализу динамике кретања инфлације, количине новца у оптицају и берзанских индекса. Можемо да видимо да се модели могу применити у економији и да се уз даља истраживања могу развити за анализу краткорочних промена у наведеним параметрима.

Аутор рада наставиће да се бави истраживањима из примењивости закона из физике у економији, конкретно проблемом дистрибуције богатства, где постоје назнаке да се Њутнов закон хлађења може применити за опис динамике доласка система дистрибуције богатства у стабилну фазу.

6. Литература

- Bali S., (2011.) „Econophysics, Thermoeconomics and Phynance“, *The Journal of International Social Research*, Vol.4, Issue: 18, Yaz, pp. 379–388.
- Bryant J. (2012.), „*Thermoeconomics - A Thermodynamic Theory of Economics*“, VOCAL International Ltd, 7.
- Desai D. A. (2006.), “Newton’s Law of Cooling”, *Physics Education*, Vol.23, No.1, pp 51–54.
- Dincer, I. (2007.) *Exergy: Energy, Environment, and Sustainable Development*, Boston: Elsevier
- Đurović Todorović J., Tomić Z., Denić N., Petković D., Kojić N., Petrović J., Petković B., “Applicability of Newton’s law of cooling in monetary economics”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vo. 494, pp. 209–217.
- Đurović Todorović J., Tomić Z., (2013) *Application of Ideal Gas Equation in Monetary Economics*, Improving the Competitiveness of Enterprises and National Economies - Factors and Strategies, Niš pp. 89–111.
- Ђуровић Тодоровић, Ј. (2010.), *Монетарна економија*, Економски факултет у Нишу, Ниш.
- Gkranas A., Rendoumis V. L., Polatoglou H. M. (2003.), “Athens and Lisabon Stock Market: A thermodynamic approach”, *WSEAS International Conferences*, World Scientific and Engineering Academy and Society, Athens, Greece, 29–31 december.
- Lewis M., (2010.), „The Physics of Inflation: Newton’s law of cooling and Consumer Price Index“, *Journal of Applied Quantitative Methods*, Volume 5, pp 105–112.
- Радовић О. (2011.), „*Еконофизика*“, Презентација, Економски факултет у Нишу, Ниш.
- Roehner B., (2010.), *Fifteen years of econophysics: worries, hopes and prospects*, <http://arxiv.org/pdf/1004.3229v1.pdf>,

- Tomić Z., Stojković A., *Primena Njutnovog zakona hlađenja na berzanske indekse*, 20. DQM međunarodna konferencija, zbornik radova, Prijedor, 2017., pp. 333–338.
- Vollmer M. (2009.), “Newton’s law of cooling revisited”, *European Journal of Physics*, Vol. 30 No.5, pp. 1063–1084.
- Zarikas V., Christopoulos A. G., Rendoumis V. L. (2009.), “A Thermodynamic Description of the Time Evolution of a Stock Market Index”, *European Journal of Economics, Finance and Administrative Sciences*, Issue 16, pp. 73–83.

ECONOPHYSICS – Physicists' contribution to the development of economic thought

Zoran Tomić

University of Niš
Faculty of Economy

Abstract: *Interdisciplinarity today is present in every single scientific field. Interestingly, in the field of economy there is interdisciplinarity which manages to bring together seemingly opposite ideas, and that is econophysics. Econophysics is an interdisciplinary research area with the aim of applying the ideas and laws of natural science (especially physics) to describe and study the phenomena in the field of economy. In this paper the author tried to briefly present econophysics, which exists under that name since 1995 and witnesses a growing number of scientists studying it. The author also presented concrete examples of how knowledge from the field of physics is applied in economy, the examples he himself had studied.*

Key words: *econophysics, Newton's Law of Cooling, monetary economy, thermodynamics*