

NANOETIKA

Зоран В. Поповић, Институт за физику, 11080 Београд, Прегревица 118, Србија

Rad po pozivu

Садржај – Дат је приказ етичких дилема које се јављају у нанонауци. Приказана су с једне стране претеривања наноутописта, а са друге стране нано-апокалиптичара. Предложена су етичка мерила о којима би требало водити рачуна при предлагању пројеката из нанотехнологија.

програма истраживања уврстила нанонауку у један од приоритетних праваца [4]. У табели 1 дат је приказ динамике инвестирања у ову истраживачку област у свету између 1997 и 2002.г [5]. У 2003. години издвојена су средства за истраживања у нанонауци у САД у износу 774 милиона \$, од чега је готово трећина (243 М\$) усмерена на армијске потребе [6].

1. НАНО-НАУКА И НАНО-ТЕХНОЛОГИЈА (НТ)

Реч **нано** потиче од грчке речи **ναννος** (патуљак), а означава јединицу која је 10^{-9} мања од основне јединице. Када се ради о дужини, 1 нанометар је 10^{-9} метра; што је димензија која је само око пет пута већа од димензије атома, а на пример 70 пута мања од димензија црвених крвних зрнаца.

Постоји низ дефиниција појма нано-наука, односно нано-технологија. При томе оне се непрестано допуњују и усавршавају. Ми смо овде изабрали дефиницију америчке агенције НАСА [1].

Nanotechnology is a rapidly expanding field, focused on the creation of functional materials, devices, and systems through the control of matter on the nanometre scale, and the exploitation of novel phenomena and properties at that length scale

Основни мото нанотехнологија је:

“запослити индивидуалне атоме или молекуле да конструишу функционалне структуре”.

Као праотац НТ обично се наводи познати физичар и нобеловац Ричард Фејнман који је у свом чувеном предавању *There is plenty of room at the bottom*, које је одржао на скупу Америчког физичког друштва 29 децембра 1959. године, између осталог рекао:

“The principles of physics, as far as I can see, do not speak against the possibility of maneuvering things atom by atom. It is not an attempt to violate any laws, it is something, in principle, that can be done, but in practice, it has not been done because we are too big”.

Савремени промотор нано-науке односно технологије је Ентони Лејн (*A Lane*), саветник за науку и технологију бившег председника САД Р. Клинтонa. На савету америчког владиног комитета за науку и технологију, фебруара 2000.г. изјавио је:

‘If I were asked for an area of science and engineering that will most likely produce the breakthroughs of tomorrow, I would point to nanoscale science and engineering’.

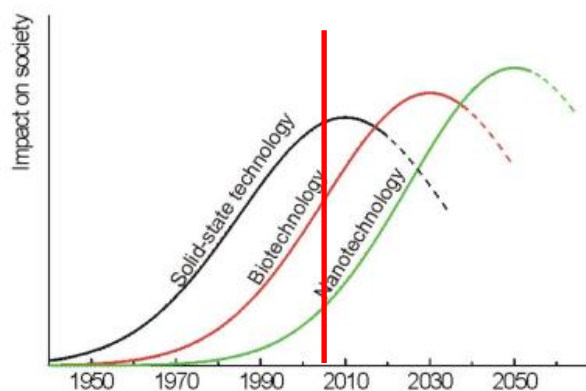
Након овог јасног става, односно одредења америчке администрације отпочела је лавина нано-иницијатива, најпре у америци, а затим и широм света [2]. Формирани су нано-центри и нано-институти [3], а Европска заједница је у оквиру свог 6-тог оквирног

Табела 1. Динамика улагања средстава у истраживање и развој нанотехнологија [5].

Земља/регион	1997.г.	2002.г.
САД	432	604
Западна Европа	126	350-450
Јапан	120	750
Јужна Кореја	0	100 ^а
Тајван	0	70
Аустралија	0	40
Кина	0	40
Остатак света	0	270

^агодишње у наредних 10 година (у милионима \$)

Сматра се да ће нанотехнологија имати много већи импакт на друштво, слика 1, него што то данас имају чврстотелне- (полупроводничке-) и био-технологије. Подсетимо се само да су произвођачи полупроводничке технологије: компјутери, ДВД и аудио уређаји, ласерски системи, мобилна телефонија итд, уређаји без којих је модеран живот незамислив.



Слика 1. Илустрација утицаја постојећих и нано-технологија на друштво. Вертикална линија означава 2005. годину.

О импакту нанотехнологија на друштво вредно је истаћи мишљење **Richard Smalley**, добитника Нобелове награде за хемију за откриће угљеника C_{60} :

‘The impact of NT on health, wealth, and the standard of living for people will be at least the equivalent of the combined influences of micro-electronics, medical imaging, computer-aided engineering, and man-made polymers in this century’.

Наше ресорно Министарство, или још увек није препознало светска усмерења истраживања ка нанонауци и нанотехнологијама, или нема храбрости да нанонауку и нанотехнологију означи као једну од приоритетних области истраживања у Србији (што је већ учинило са областима као на пример: Енергетска ефикасност, Биотехнологија и агроиндустрија, снабдевање становништва водом и пречишћавање вода...) Србија је вероватно једина земља у Европи која такву иницијативу нема.

2. НАНО-ЕТИКА?

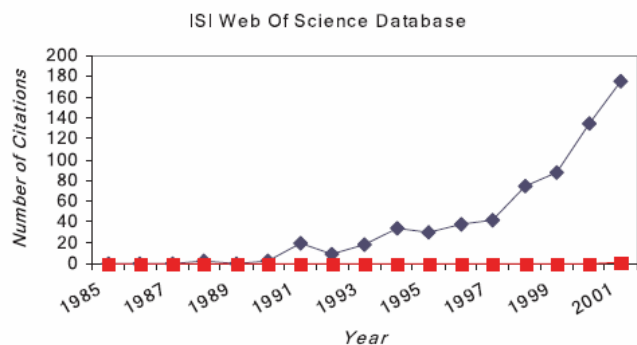
Етика – као наука о моралу испитује морал, његове изворе и заснивање, циљеве и смисао, основне критеријуме вредновања и оцењивања моралних захтева и људског поступања. [7]. Етика је философска наука, она је философија морала. Етичка разматрања научних принципа и научног рада у појединим научним областима спадају под „Примењену етику”, као на пример што је: Етика научног рада, Етика у техници и инжењерству (техничка етика); Медицинска етика, Биоетика итд.

Основни етички принцип рада научника је интелектуално поштење, које се огледа у коректно примењеним методама, критичком испитивању добијених резултата и њиховом аутентичном објављивању [8].

У природним и техничким наукама етика се посебно бави:

- Проучањем циљева и сврхе научно-техничког развоја
- Проучањем средстава којима се остварују циљеви и
- Проучавањем нежељених ефеката и фактора ризика.

У нанотехнологијама се традиционалне границе између Физике, Хемије, Биологије, и техничких дисциплина преплићу, па етичка питања везана за нанотехнологију обухватају све већ познате етичке линије из поменутих области. Због тога још увек није јасно да ли је наноетика “мода”, а не нова грана примењене етике [9]. На слици 2. дата је цитираност радова из нанонаука и наноетике, према ИСИ бази података за период 1985-2001.г. Види се да, док број цитата који се односе на нанонауку експоненцијално расте, цитирање радова из наноетике практично не постоји, што је најбоља илустрација да су ова истраживања још увек у зачетку.



Слика 2. Број цитираних радова за појмове нанонаука (ромб) и наноетика (квадрат) према ISI Web of science бази података [5].

3. НТ ОД УТОПИЈЕ ДО АПОКАЛИПСЕ

Многи данашњи прикази перспектива нанотехнологије могу се сврстати у традиције научног утопизма 17 века. Наведимо само неке [10,11,12]:

- Производња молекул-по-молекул (МПМ) била би сама себи довољна и потпуно чиста. Нема загађења ни отпада јер је рециклажа потпуна, уз могућност пасивизације опасних материјала и обнављања оштећене природе.
- МПМ производња омогућила би израду врло лаких материјала чиме би одлазак у свемир био јак олакшан, што би створило услове за коришћење космичких ресурса.
- Ова техника би довела до значајног појефтинјења производа високих технологија, као што су лаптоп компјутери, мобилни телефони итд, уз драстичну минијатуризацију постојећих чипова и повећање брзине њиховог рада.
- Производња молекул-по-молекул би могла да се користи и за израду хране (уместо узгајања хране како је то сада). Тиме би се решио проблем глади на целој планети.
- Нанотехнологија у медицини би била права чаролија. Нано-машине и нано роботи би чистили наше зачепљене или замашћене крвне судове, водили борбу са бактеријама и вирусима, обнављали оштећене органе, скенирали мозак, налазили и репарирали оштећена места, итд. НТ производи би довели до побољшања општег физичког и психичког здравственог стања, што би значајно продужило животни век.
- Радовали би се и они који верују у хибернацију, јер би нанороботи били у стању да после одлеђивања поново активирају (оживе) сваку ћелију у организму понаособ.
- Нанотехнологија би била у стању да побољша и менталне капацитете људи. Предвиђа се и могућност преношења података из мозга на компјутер. Специјалне наномашине би скенирале мозак атом-по-атом и неурална мрежа мозга била би пренета на компјутер.
- На крају, нанотехнологија би довела и до социјалног благостања јер би се здрави људи

осећали задовољно и мирољубиво, живели би у хармонији, перфектног телесног здравља и блиставог ума.

Дебате о нанотехнологијама укључују и катастрофична предвиђања као на пример [11]:

- Нагли развој молекулске производње довешће до потпуног колапса садашње економије због појаве великог броја врло јефтених производа, што ће бити праћено енормним порастом незапослености.
- МПМ производња може бити злоупотребљена у војне и терористичке сврхе јер ће производи нанотехнологија бити врло јефтине и лако доступни, једноставни за дистрибуцију и распршивање.
- Развој сензора, камера и микрофона на наноскали довешће до потпуног угрожавања приватности јер ће бити готово немогуће уочити такве направе на себи и у непосредној близини.
- Производи нанотехнологије могу да буду врло опасни по животну средину. На пример, ако се развију деструктивне наномашине које би продрле у ланац исхране и тако потпуно угрозиле животну средину.
- Најгори сценарио који се помиње је производња наномашина које би као глисте имале могућност само-репродукције. Биле би готово неуништивне јер би се из њихових саставних делова развијале нове наномашине. Њихов раст би се одвијао по експоненцијалном закону. Када би се оваква чудеса убацила у биосферу, она би врло брзо постала сива лепљива маса (gray-goo сценарио).
- Наравно да се помиње да би овакве направе могле, када дођу у руке терориста, да постану оружје за масовно уништење, или средство за уништење компјутера конкурентских компанија, итд.

Постојање овако различитих ставова НТ-утописта и НТ-апокалиптичара о перспективама нанотехнологија доводи до непотребних конфликта, а који врло лако могу да доведу до обуставе иницијативе за развој неких од праваца у оквиру НТ. Етичка питања везана за НТ данас се углавном воде између ове две групе „визионара“ и замагљују права етичка питања везана за ову област.

Потребан је много избалансиранији прилаз дебати о развоју нанотехнологија, што је илустровано у следећих 6 тачака.

1. Најпре је неопходно изабрати једну од низа области истраживања у оквиру НТ. (усмерити се само на једну од овласти НТ, као на пример
 - Наноматеријали и производња
 - Наноелектроника и компјутерска технологија
 - Медицина и здравље
 - Аеронаутика и истраживања свемира
 - Животна средина и енергија
 - Биотехнологија и агроиндустрија
 - Безбедност,
- а не разматрати етичке аспекте свих области НТ јер се они, од случаја до случаја, много разликују)
2. Шта су циљеви специфичне области НТ.

3. Да ли су циљеви етички пожељни. (на пример етички је много пожељније да се у оквиру НТ нађе лек против СИДЕ него да се тежина свемирске станице за истраживања Марса смањи за 10%).

4. Да ли ће развој области довести до реализације постављених циљева.

(да ли су циљеви реални – оствариви)

5. Који су етички проблеми везани за даљи развој истраживачке области.

(обавезно разматрати *ризик* и *правичност* у расподели резултата добијених истраживањем).

6. Да ли су ови етички проблеми савладиви?

Илустрација колико је важно предвидети све факторе ризика приликом увођења на тржиште производа нових технологија дата је на примеру генетски модификованог кукурузног зрна [14].

4. ДЕБАКЛ СА ГЕНЕТСКИ МОДИФИКОВАНИМ КУКУРУЗНИМ ЗРНОМ

Кукурузни мољак (*Ostrinia nubilalis* – у англосаксонској литератури познат под називом European corn borer), слика 3(а), је инсект који буши кукурузне листове, слика 3(б) чиме пресеца главне линије снабдевања водом и прозрокује смањење приноса кукуруза до 10%, а у драстичним случајевима и до сушења читавих засада. Борба против ове штеточине вршена је запрашивањем пестицидима, што је имало многе штетне последице не само на овај инсект него и на целокупну околину. Решење овог проблема нађено је тако што је извршена генетска модификација (ГМ) зрна додавањем бактерије *Bacillus thuringiensis* (Bt). Ова бактерија прозводи отров који је токсичан само за кукурузни мољак, а потпуно безопасан за сав остали биљни и животињски свет и људско здравље. 1995 године почело је масовно коришћење овог зрна (ГМ-Бт) у производњи кукуруза.

Неколико година касније појавио се чланак “**Transgenic pollen harms monarch larvae**” у часопису *Nature* [15], у којем је наговештена могућност да полен ГМ-Бт кукуруза може да угрози краљевске лептире (monarch butterfly, *Danaus plexippus*), слика 3(ц).



Слика 3. (а) Кукурузни мољак, (б) Избушени листови кукуруза, (ц) Краљевски лептир. Ова врста лептира је веома позната у Америци где у пролеће прелазе по неколико хиљада километара из Мексика до јужне и средње Америке да би оставили потомство. У Европи их има али им је популација врло мала.

Дан након овог саопштења у америчким и европским медијима појављују се сензационални наслови типа:

- “**Biotech vs. ‘Bambi’ of insects? Gene-Altered Corn May Kill Monarch**” (*Washington Post*);
- “**Engineered corn kills butterflies, study says**” (*USA today*);
- “**Pollen from GM maize shown to kill butterflies**” (*The Guardian*).

Поседице ових написа биле су драстично смањење продаје и забрана увоза овог зрна у Европску унију (где иначе има врло мало Краљевских лептира), а која је одмах затим прерасла у општи мораторијум на увоз генетски модификоване хране из Америке у ЕУ.

Произвођачи генетски модификованог кукурузног зрна су затим, заједно са министарством за пољопривреду САД, у два наврата, финасирани пројекте и научне конференције (фонд 350.000 долара) са циљем да се сумње око штетности ГМ-Бт полена на краљевске лептире уклоне. Резултати ових истраживања су објављени у зборнику радова Националне академије наука САД, где је показано да је ризик утицаја полена ГМ-Бт кукуруза на краљевске лептире занемарљив, али то није имало битнијег одјека у јавности (медијима).

Европска унија је након великог притиска америчке администрације тек 2003. г. делимично ублажила мораторијум на увоз ГМ хране, обавезујући произвођаче да ако у производу има више од 0.9% ГМ зрна, то мора на паковању да буде јасно означено.

Промотери нанотехнологија се надају да се овакав сценарио неће поновити, а Environmental Protection Agency (ЕРА) САД је у 2003.г. одвојила 4 милиона долара за финансирање истраживања утицаја већ произведених наноматеријала на људско здравље и животну средину.

ЗАКЉУЧАК

Разматрање етичких питања развоја појединих области, а тако и нанотехнологија, може да буде или **сувише рано** (када нема довољно информација о њеном развоју као у примерима нано-утописта и нано-апокалиптичара) или **сувише касно** (када је економски интерес већ сасвим велики, па су ревизионе могућности врло мале).

Отворено је питање да ли је наноетика посебан део примењене етике или би етичари, у дијалогу са истраживачима из природних и техничких наука, требало да се позабаве етичким аспектима нанотехнологије изван граница традиционалних области - примењених-етика.

Рај је урађен у оквиру Пројекта 1469 финансираног од стране МНЗЖС Р Србије. Захваљујем се М. Грујић-Бројчин на неким литературним изворима.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] NASA: www.ipt.arc.nasa.gov/nanotechnology.html.
- [2] На пример у Бугарској је новембра 2004 одржана 6-та по реду конференција о НТ у оквиру националне НТ иницијативе. О НТ у Америци види www.nano.gov. О политици Јапана у НТ види Т. Kishi, *J. Nanopart. Res.*, **6**, 547 (2004) , а Немачке, види V. Rieke, G. Bachmann, *J. Nanopart. Res.*, **6**, 435 (2004).
- [3] [3] www.nanotecni.com.
- [4] У оквиру FP6 програма Европске уније приоритет број 3 су: **Nanotechnologies, intelligent materials, and new production processes.**
- [5] A. Mnyusiwalla, A. S Daar and P. A Singer: ‘Mind the gap’: science and ethics in nanotechnology, *Nanotechnology* **14** (2003) R9–R13.
- [6] J. Altmann and M. A. Gubrud.: Military, Arms Control, and Security Aspects of Nanotechnology , D. Baird, A. Nordmann & J. Schummer (eds.), *Discovering the Nanoscale*, Amsterdam: IOS Press, 2004.,p.269.
- [7] К. Темков: Добро, болје, најболје: Етика за младе, Bajka, Nis, 2004.
- [8] З. В. Поповић: «Како написати и објавити научно дело», Академска мисао-Београд, 2004.
- [9] A. Grunwald: Ethische Aspekte der Nanotechnologie. Eine Felderkundung.
- [10] B. Gordijn: Nanoethics-From Utopian Dreams and Apocalyptic Nightmares towards a more Balanced View.
- [11] J. Moor and J. Weckert: Nanoethics: Assessing the Nanoscale from an Ethical Point of View, *Discovering the Nanoscale* (D. Baird, A. Nordmann & J. Schummer (eds.)) Amsterdam: IOS Press, 2004. p.302.
- [12] W. L. Robinson: Nano-Ethics, *Discovering the Nanoscale* (D. Baird, A. Nordmann & J. Schummer (eds.)) Amsterdam: IOS Press, 2004. p.285.
- [13] E. Schuler: Perception of Risks and Nanotechnology, *Discovering the Nanoscale* (D. Baird, A. Nordmann & J. Schummer (eds.)) Amsterdam: IOS Press, 2004. p.279.
- [14] Losey *et al. Nature* ,19 Maj 1999.

Abstract – We present an overview of ethical problems in nanoscience and nanotechnology taking into account nanotopian dreams and nano-apocalyptic night mares. Some ethical rules towards more balanced view are also proposed.

NANOETHICS

Zoran V. Popović