

Природне науке • *Natural sciences* • *Естественные науки*

Тамна страна свемира

Овај чланак, који је намењен широком кругу читалаца, представља кратак приказ савременог схватања свемира, са посебним освртом на новија открића и актуелна истраживања. Недавно велико откриће каже да се свемир убрзано шири. Новија истраживања говоре да у свемиру има готово 96% невидљиве материје чија нам је природа непозната и њено откривање спада у највеће савремене научне изазове.

Продор у материју, простор и време.

У току свог целокупног постојања човек је стално тежио да спозна свет око себе, а тиме материју, простор и време. Та животна потреба и знатижеља развијале су се упоредо са развојем људског рода. У почетку се то сводило на упознавање основних својстава предмета у најближем окружењу, завиривање иза хоризонта и покушавања да се наслути шта се може догодити следећег дана. Човек је постепено све више и више продирао у дубину материје, сагледавао ширину небеског простора, интересовао се за прошлост и будућност. На путу у микросвет, служећи

се акцелераторима, успео је да убрза наелектрисане честице (протоне и електроне) до тако великих енергија да у њиховим међусобним сударима сагледа структуру материје до растојања око 10^{-18} m. На путу у макросвет, користећи радиотелескопе, угледао је крајњи хоризонт који се налази на граници метagalаксије, односно стигао је до растојања око 10^{26} m. На путу у прошлост, закључио је да материја, простор и време имају свој почетак. У току свега трагања да продре у дубину материје, ширину простора и прошлост времена, небеско је представљало нешто посебно и веома узбудљиво.

Поглед у ноћно небо. Гледање ноћнога неба, са мноштвом светлећих тачака и разних фигура на тамној позадини, било је од самог почетка проткано разним осећањима нечег тајновитог, далеког, огромног, вечног, недостижног, судбоносног, божанског... Небо је било предмет пажње многих и разних мислилаца. Данас је оно предмет изучавања више научних дисциплина, а посебно астрономије, астрофизике и космологије. Много се сазнало о

Стил 2008

видљивим објектима, али још више остаје непознатог на тамној страни неба.

398

Шта је свемир? Све што постоји, и налази се у некој интеракцији, називамо свемир. У честој употреби су такође синоними васиона и космос, а могу да се користе и називи васељена и универзум. Да ли постоји више васиона? Могуће је. Али ако и постоје две васионе, пошто оне нису у некој интеракцији, може се сматрати да за било коју од њих она друга практично не постоји, и тако нешто нећемо овде даље разматрати. За једну васиону сигурно знамо да постоји, и то је ова наша којој и ми сами припадамо. За нашу васиону користимо даље реч свемир.

Шта је космологија? Наука о свемиру као целини назива се космологија. Користећи резултате и методе истраживања многих природних наука, а посебно физике, астрофизике и астрономије, она се понекад третира и као део неке од ових наука. Међутим, она се све више развија у посебну мултидисциплинарну научну област. У односу на све друге науке она има најшири предмет истраживања. Од својстава свемира као целине, а пре свега од његове даље еволуције, зависи судбина свих његових делова. То такође одређује оквире еволуције и судбине човечанства, разума и живота уопште. Та судбоносна својства свемира још су нам непозната и припадају (према данашњим схватањима) његовој тамној страни, коју чине тзв. *тамна енергија* и *тамна материја*.

Четири фундаменталне силе. Материја, простор и време су узајамно повезани у оквиру опште теорије релативности, која је Ајнштајнова теорија гравитације и уједно теоријска основа савремене космологије. У природи су до сада

позната четири типа фундаменталних интеракција (сила): гравитациона, електромагнетна, јака и слаба. Гравитациона сила је прва са којом се човек сусреће и на коју се навикава већ у периоду свога детињства. Она је универзална, јер делује привлачно између било која два делића материје, па тиме и између Земље и човека дајући му тежину. Електромагнетна сила делује између било које две наелектрисане елементарне честице, и практично сматрамо да су основни носиоци електричног набоја електрони и протони. Та сила постоји између тела која имају вишак или мањак електрона у односу на протоне. Све електричне, магнетне и оптичке појаве су разне манифестације електромагнетне интеракције. Јака интеракција формира атомско језгро од протона и неутрона, а слаба интеракција регулише распад неутрона. Док су јака и слаба интеракција ограничене на растојања величине атомског језгра или мања, електромагнетна и гравитациона сила делују и на макрорастојањима. Тако свакој од ових интеракција одговара област простора у којој је она доминантна. На космичким растојањима, односно између небеских тела, практично постоји једна сила, и то је гравитација. За сада сматрамо да је гравитација и једина сила која управља еволуцијом целокупног свемира.

Метагалаксија – видљиви део свемира. Дуго је човек могао да посматра небо само голим оком. Пре четири века почео је да употребљава оптичке телескопе, а од средине прошлог века веома користи и радиотелескопе. Може се рећи да данас астрономи посматрају свемир на свим таласним дужинама електромагнетног зрачења. Поред тога детектује се и остало космичко зрачење, које има честичну природу. Анализом електро-

магнетног и другог космичког зрачења дошло се до неколико битних закључака о метагалаксији, што је видљиви, односно опсервациони део свемира.

Хомогеност и изотропност свемира.

Основни структурни елементи свемира су галаксије, тј. огромне групе звезда, којих може бити и неколико стотина милијарди, и међузвездане материје састављене од гаса и прашине. Наша галаксија, Млечни Пут, садржи наш Сунчев систем и око двеста милијарди других звезда. То је ноћу и најупадљивији део неба. Поред Млечног Пута постоји још око двеста милијарди галаксија. Као што наше Сунце спада у звезде средње величине тако и Млечни Пут припада осредњим галаксијама. Иако су галаксије, па тиме и материја, локално неравномерно распоређене, ипак на доста великим растојањима средња густина материје је константна, па кажемо да је свемир хомоген. Установљено је да је свемир и изотропан. Хомогеност и изотропност свемира значе да је у њему материја на космичким растојањима и у свим правцима равномерно распоређена.

Стандардни космолошки модел. Амерички астроном Едвин Хабл (*Edwin Hubble*) је 1929. године анализом тзв. космичког црвеног помака, тј. помака спектра галаксија ка њиховом црвеном делу, и његовим повезивањем са кретањем галаксија открио ширење свемира: брзина удаљавања галаксија је директно пропорционална њиховом растојању ($v = Hd$). Пре овог открића била су позната два теоријска модела: 1) Ајнштајнов модел, по којем је свемир у облику тродимензионе сфере и статичан, и 2) Фридманов модел, према којем свемир не може бити статичан већ динамичан, тако да се шири

или скупља. Хаблово откриће потврдило је Фридманов модел и показало да се свемир налази у фази ширења. После тога открића разматрале су се разне могућности ширења и после Другог светског рата искристалисала су се два прилаза: 1) *стаационарно ширење*, према којем свемир се вечно шири и стално је исти, јер се у току ширења ствара потребна материја, одржавајући густину константном, и 2) *велики њрасак (Big Bang)*, што значи да је свемир имао почетак када је био веома мали, густ и ужарен. Открићем космичког микроталасног позадинског зрачења 1965. године потврђен је модел великог праска и установљено да температура свемира сада износи 2.7 К. После тога космологија почиње да се теоријски и опсервационо интензивније развија. Технички напредак човечанства омогућава тачнија мерења физичких особина свемира. У теоријским истраживањима поред опште теорије релативности користе се и друге физичке теорије, а посебно квантна механика, квантна теорија поља и теорија елементарних честица. Фридманов модел ширења са великим праском на почетку се профињује. Тако нпр. уведен је 1981. године инфлациони сценарио који побољшава неке недостатке стандардног Фридмановог модела, тако што је свемир у току веома кратког делића времена прве секунде његовог постојања имао огромно (инфлационо) ширење. Сам настанак и почетак еволуције разматрају се у оквиру квантне космологије, која представља примену квантне механике на свемир као целину.

Убрзање свемира. У оквиру опште прихваћеног ширења свемира очекивало се да после изузетно кратког периода инфлационог ширења, његово даље ширење се постепено успорава. Међу-

тим 1998. дошло је до сензационалног открића: у последњих пет милијарди година свемир се убрзано шири. Почетак овог убрзаног ширења приближно одговара почетку формирања Сунчевог система. Овде вреди напоменути да је укупна старост свемира у последње време добро процењена и износи 13,7 милијарди година. Откриће убрзаног ширења свемира је проишло из изучавања једне класе удаљених супернових (SNe Ia), звезда које су експлодирале на крају свог животног циклуса. Њихов сјај је опсервиран нешто блеђим од очекиваног, што је интерпретирано као последица њиховог убрзаног удаљавања. Ово откриће убрзаног ширења је потом потврђено и другим космичким посматрањима.

Шта је узрок убрзаног ширења свемира? О томе брину многи научници, а посебно космолози и физичари теоретичари у области елементарних честица и гравитације. У прилазу овом проблему треба се обратити Ајнштајновим једначинама за гравитационо поље, које представљају теоријску основу моделирања свемира. Подсетимо се да у структури ових једначина постоје два дела: 1) геометријски део, који описује геометрију простор-времена свемира и 2) материјални део, који садржи просторно-временску расподелу густине и притиска материје. Ова два дела су повезана знаком једнакости и међусобно утичу један на други. Из Фридманових једначина, које се добијају из Ајнштајнових при стандардним претпоставкама и описују Фридманов модел свемира, директно не следи убрзано ширење. Оно што следи из анализе ових једначина своди се углавном на две могућности: 1) Ајнштајнове једначине су коректне и у њих треба да се дода још један нови вид материје и 2) Ајнштај-

нове једначине треба да се модификују, јер у датом облику су веома једноставне, а постоје разне могућности за њихово уопштавање. Већина научника сматра да је у питању први случај и нови вид материје је назван *тамна енергија*.

Шта је тамна енергија? То је потпуно нови вид материје, који има следеће хипотетичке особине: 1) хомогено је распоређена по целом свемиру, 2) делује одбојно и има негативан притисак, што је узрок убрзаног ширења свемира и 3) њен удео у целокупној материји свемира је $72 \pm 2\%$.

Каква је природа тамне енергије?

За сада на ово питање нема општеприхваћеног одговора, иако је ово предмет интензивних истраживања. Одговори који се нуде јесу прелиминарни и могу се поделити у три групе, у зависности од вредности параметра w у једначини стања материје $p = wp$, где је p притисак а ρ густина материје: 1) тамна енергија је квинтесенција, тј. једно скаларно физичко поље са $-1 < w < -1/3$; 2) тамна енергија је космолошка константа Λ (ламбда), тј. енергија вакуума са $w = -1$; и 3) тамна енергија је фантомска материја, тј. материја са $w < -1$. Измерена вредност параметра w је $w = -0.97 \pm 0.06$, тј. још увек је могућ било који од три наведена случаја.

О космолошкој константи. Космолошку константу Λ је 1917. године увео сам Ајнштајн у чланку о статичком моделу свемира. Према тадашњем Ајнштајновом схватању свемир је статичан, а да би био такав, потребно је да нешто стално и константно делује супротно гравитационом привлачењу, а то је управо космолошка константа са позитивном вредношћу ($\Lambda > 0$). Касније је показано да Ајнштајнов статички модел није при-

хватљив, јер је нестабилан. Напуштајући идеју космолошке константе Ајнштајн је изјавио да је њено увођење био његов највећи научни промашај. Међутим, питање стварног постојања космолошке константе и енергије вакуума је остало једним од крупних космолошких и елементарно-честичних проблема и изазова, који су недавно интензивирани открићем убрзаног ширења свемира. У случају да је узрок убрзаног ширења космолошка константа свемир ће наставити да се убрзано шири и галаксије ће се све више међусобно разилазити. У преостала два случаја, тј. квинтесенције и фантомске енергије, могуће је да се тамна енергија мења током времена и да у будућности чак игра привлачну уместо садашње одбојне улоге. Најдрастичнији случај убрзаног ширења је фантомски са константним $w < -1$, јер доводи чак и до ширења атома и његовог растурања у току коначног будућег времена.

Шта је тамна материја? Већ тридесетих година прошлог века (*Fritz Zwicky, 1933*) је уочено да је за објашњење расподеле великих брзина међусобног кретања унутар кластера галаксија потребно увести неку скривену материју, која својом гравитацијом спречава њихово растурање и одржава их на окупу. Неопходност постојања такве невидљиве материје потврђена је потом у више сличних случајева, и за њу је уведен назив *тамна материја*. Под тамном материјом се подразумева један нови вид материје који интерагује гравитационо али не и електромагнетно; расподељена је тамо где и галаксије са њиховим халоима и нема велике брзине кретања. Дакле, тамна материја је гравитационо привлачна и не садржи наелектрисања, па нема електромагнетног зрачења, и због тога је потпуно тамна у ширем електро-

магнетном смислу. Иако је од прве идеје о тамној материји прошло 75 година, још увек је питање њене природе велика научна загонетка. У току протеклог времена покушавано је да се састав тамне материје моделира разним елементарним честицама, али све је остало безуспешно. Количина тамне материје је процењена на $23 \pm 1\%$ од укупне материје свемира.

Шта је обична материја? Обична материја је углавном састављена од протона и неутрона, а често се назива барионска материја. Обичну материју чини сва видљива материја у свемиру. Од ње су начињени атоми, ми, Земља, Сунце, звезде, галаксије и сва позната материја. Природа ове материје нам је добро позната и описује се стандардним моделом физике елементарних честица. Некад смо сматрали да је све, или готово све, састављено из ове материје, међутим испоставило се да ње има у свемиру само $4.6 \pm 0.2\%$.

Тамна ситрана свемира је уобичајен назив у научној и популарној литератури, и под њим се углавном подразумевају космолошки аспекти тамне енергије и тамне материје. Међутим, у ширем смислу то може да се односи и на сва озбиљна космолошка предвиђања која још нису довољно или уопште експериментално односно опсервационо потврђена. Да поменемо нека од таквих предвиђања базирана на *М-теорији*, која садржи теорију суперструна у којој су струне елементарни конституенти свемира. Према М-теорији наш простор има 7 додатних димензија, које су мале и долазе до изражаја на растојањима блиским Планковом растојању (10^{-35} m). Напомињемо да се до сада стигло само до растојања 10^{-18} m. Ускоро треба да се пусти у рад нови акцелератор у ЦЕРН-у, у Женеви, који ће продрети нешто дубље у простор и вероватно

401

омогућити откриће неколико нових елементарних честица. М-теорија даје такође могућност постојања тзв. *мултиверзума* (енглески: мултиверсе), тј. васионе са више просторних домена који се међусобно разликују по вредностима основних физичких константи.

Будућност космологије и свемира.

402 Космологија ће у будућности играти веома важну улогу, дајући човечанству све више потребних и корисних сазнања о свемиру. Расветљавање тамне стране свемира биће један од главних предмета истраживања. Од понашања тамне енергије и тамне материје зависиће даља будућност свемира и његова судбина. Из досадашњих истраживања није јасно да ли ће се свемир вечно ширити или ће се ширење зауставити и прећи у скупљање. У оба случаја свемир очекује својеврсна смрт: вечно ширење – хладна, а скупљање – врућа. Један од привлачних хипотетичких модела јесте циклични свемир у коме сваки циклус има ширење и скупљање, а циклуса може бити бесконачно много. На тај начин свемир не ишчезава потпуно при скупљању и има бесконачно трајање. Овај модел нас подсећа на један мит старих Египћана о птици *феникс* која

живи 500 година, а затим сама себе спали да би из пепела оживела подмлађена и поново живела 500 година до следеће ломаче. Познати су случајеви у физици када се око неког новог феномена улагало много безуспешног труда да се он објасни у оквиру постојеће теорије. Међутим, релативно просто и природно решење се налазило увођењем нових физичких принципа и математичких метода. Један нови обећавајући космолошки прилаз јесте аделична космологија, која почива на аделима. Адели су једна математичка конструкција која укључује поред реалних и све p -адичне бројеве, тј. садржи све скупове бројева који су уопштење скупа рационалних бројева. Од 1987. године p -адични бројеви и адели се успешно користе у моделирању неких сложених феномена. Могуће је да као што реални бројеви добро описују обичну материју да тако природу тамне стране свемира описују p -адични бројеви. У току је рада једне идеје аделичног свемира који је састављен из реалног и p -адичних светова. У сваком случају од успеха будућих истраживања свемира зависиће колико ће дуго његова тамна страна остати тамном.

Бранко Драговић (Београд)