

# Opšta astrofizika 1 Uvodna razmatranja

Dušan Onić

[donic@matf.bg.ac.rs](mailto:donic@matf.bg.ac.rs)

Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu

- Astronomija ima za cilj da OBJASNI posmatrane pojave i to putem kritičkog promišljanja
- Kritička misao odsustvuje kod onih ljudskih delatnosti koje se često lažno predstavljaju kao nauka ili se pak deklarišu kao anti-naučne
- U nauci nije dovoljno samo uočiti neki fenomen, već ga je potrebno i naučno objasniti
- Naučni iskazi moraju biti, pre svega opovrgljivi i logički konzistentni

- Naučna teorija predstavlja jedno naučno objašnjenje razmatrane pojave, koje svakako mora biti proverljivo
- U empirijskim naukama i nema dokaza kakvi se često sreću npr. u matematici
- Svaka danas važeća naučna teorija je ona koja je trenutno najviše podržana, a ne strogo formalno dokazana
- Pojam naučne teorije se često pogrešno interpretira kao tek neka puka pretpostavka ili nagađanje o prirodi nekog fenomena
- Takav vid pogrešnog razumevanja i relativizacije pojma naučne teorije se baš naširoko i korisiti od strane zagovornika pseudo-nauka i antinauka

- Insistiranje na strogim definicijama je često kontraproduktivno
- Definicije donekle imaju opravdanost tek po kompletiranju jedne teorije, a ne tokom samog istraživanja
- Slično je i sa forsiranjem preciznih klasifikacija u nauci
- Precizne taksonomije i formalizacije dolaze na kraju nekog istraživanja
- U astronomiji je zato važno da se definicije i klasifikacije shvate samo kao okvirne smernice, a ne kao stroga pravila

- Zakoni se mogu pripisati samo onim pojavama koje se ponavljaju
- Ukoliko se prilikom analize astronomskih posmatranja utvrdi da postoje izvesne zakonitosti, onda je zadatak astronomije i (u suštini, probablistička) PREDIKCIJA
- Svakoj vezi između bilo koje dve pojave  $\mathcal{A}$  i  $\mathcal{B}$  nije opravdano da se pripisuje posebna važnost ukoliko prethodno ne postoji dobra ideja, odnosno teorijski razlog zašto bi te  $\mathcal{A}$  i  $\mathcal{B}$  uopšte trebalo da budu povezane
- Upadanje u zamku besmislenih korelacija je upravo ono što daje vetar u leđa astrologiji i drugim lažnim naukama
- Neke od danas besmislenih korelacija mogu jednog dana prestati da budu besmislene samo, naravno ukoliko se pojavi odgovarajuća naučna teorija odgovarajućeg uzroka

- Koncept objektivnosti podrazumeva da je reč o odlici nezavisnoj od posmatrača – o odlici koja nije subjektivna
- Iskaz o tome da se planeta Zemlja kreće po eliptičnoj putanji oko Sunca koje se pak nalazi u jednoj žiži predstavlja primer objektivne tvrdnje – ona nije samo nezavisna od posmatrača već je i suprotna prostoj empiriji
- Česta je zabluda da objektivnost podrazumeva nepristrasnost ili neutralnost u odnosu na sva postojeća gledišta – takav koncept objektivnosti dovodi do ideje da se u svakom sporu mora čuti i druga strana, bilo ona naučna ili ne, što često predstavlja izgovor za mnogobrojne zloupotrebe
- Naučnici diskutuju o konkretnim problemima u okviru seminara, konferencija, simpozijuma, kongresa, te putem recenziranih naučnih radova publikovanih u odgovarajućim časopisima

- Svaka pojava nekog naučnika u medijima ima smisla samo ako je on u ulozi prosvetitelja koji prenosi savremena naučna saznanja širem auditorijumu
- Primer kognitivnog poremećaja: osobe s manjkom veština i znanja u nekoj oblasti pate od iluzorne superiornosti, greškom verujući da su njihove veštine mnogo veće nego što zapravo jesu
- Iz tog razloga, nažalost nisu retki neprimereni komentari o astronomskim temama u medijima od strane stručnjaka iz različitih neastronomskih profesija, koji tako stvaraju veliku konfuziju kod laika
- Pod izgovorom slobode govora, a zapravo zbog težnje ka sve većoj gledanosti, mnogi mediji forsiraju baš takve, neprimerene programe

- Naučna popularizacija predstavlja važnu prosvetiteljsku delatnost koja daje značajan doprinos opštem obrazovanju šire populacije, te naučnoj pismenosti
- Naravno, veći angažman naučnog kadra za tu svrhu je samo potreban, a ne i dovoljan uslov za uspeh
- Čak i vrsni stručnjaci iz neke, konkretne oblasti ne moraju nužno biti i kvalitetni popularizatori nauke
- Zadatak naučne popularizacije nije nimalo lak i skopčan je sa mnoštvom praktičnih problema
- Ipak, čak i u stručnim krugovima se često neozbiljno shvata uloga i značaj popularizacije naučne delatnosti što dovodi to poprilične zapostavljenosti ove plementite delatnosti

- Za astronomiju se obično kaže da spada u najstarije fundamentalne nauke, ako ne i da je baš najstarija
- U prilog te tvrdnje se tako navodi da su ljudi, od kada postoje, posmatrali različite nebeske pojave, te prepoznavali pravilnosti u dešavanju pojedinih kosmičkih fenomena
- Naravno, slično se npr. može reći i za medicinu, jer od kada je ljudi postoji potreba za održavanjem zdravlja
- U slučaju astronomije, kao i drugih nauka, najpre je praktikovano samo uočavanje pojava, dok se na naučno objašnjavanje istih čekalo dosta dosta dugo vremena
- U tom smislu astronomija nije ništa starija od većine ostalih empirijskih nauka (koje se razvijaju od vremena Galileja)

- Uočavanje pravilnosti u (sada znamo, prividnom) kretanju nebeskih tela, kao i uspostavljanje veze između astronomskih pojava i promene godišnjih doba, svakako je bilo od presudnog značaja za rane civilizacije, posebno one vezane za zemljoradnju
- Iz tog razloga su se astronomska posmatranja praktikovala još u veoma dalekoj prošlosti ljudskog društva
- U početku su uglavnom posmatranja bila vezana za odgovarajuća ugaona merenja prividnih položaja nebeskih tela ili ocene njihovog prividnog sjaja uz pomoć isključivo ljudskog čula vida
- Može reći da upravo astronomska posmatranja spadaju među najstarija empirijska istraživanja

- U okviru astronomskih nauka se uopšte izučavaju različita nebeska tela, sistemi nebeskih tela, te međusistemska sredina, i to kako pojedinačno, tako i u celini.
- Tako se može govoriti o npr. planetarnoj astronomiji, zvezdanoj astronomiji, te Galaktičkoj i vangalaktičkoj astronomiji. Tu su i kosmologija (proučavanje svemira u celini) i kosmogonija (razmatranje postanka i evolucije konkretnih nebeskih tela i sistema).
- Ukoliko su istraživanja u astronomiji zasnovana na nekim konkretnim nosiocima informacija, moguće je diskutovati o npr. radio-astronomiji, kao i infracrvenoj, optičkoj, ultraljubičastoj, te rendgenskoj (X) i  $\gamma$ -astronomiji, neutrinsku astronomiju, kao i astronomiju kosmičkih zraka ili uopšte astročestičnu fiziku, te astronomiju gravitacionih talasa.
- Ukoliko se u razmatranjima koristi više različitih nosioca informacija onda je pogodno da se razmatra astronomija više nosioca informacija.

- Neke klasične oblasti astronomskih nauka su recimo astrometrija (ispitivanje uglavnom prividnih položaja i kretanja nebeskih tela, te njihovih udaljenosti) i nebeska mehanika (uglavnom analiza pravih kretanja nebeskih tela).
- Ako je akcenat prevashodno na fizici problema od interesa, tada se govori o astrofizici.
- Ispostavlja se da astrofizička razmatranja obuhvataju značajan deo aktivnosti u okviru moderne astronomije. Baš iz tog razloga poneki autori onda veoma grubo klasifikuju savremene astronomske nauke u dve oblasti, tzv. klasičnu astronomiju i astrofiziku.

- Nisu retke ni različite multidisciplinarne oblasti kao što su i astrohemija, astroinformatika, te astrobiologija.
- Posebno je važno naglasiti i potrebu za razmatranjima različitih astronomskih faktora rizika po biosferu na planeti Zemlji, kao i uopšte svih mogućih rizika globalnih katastrofa.
- Sprega geonauka i astronomije je takođe od velikog značaja kada je reč recimo o istraživanju nebeskih tela Sunčevog sistema.
- Pored same istorije astronomije, ponekada se izdvaja i arheoastronomija.
- Pomenimo još i astronautiku, te posebno astrodinamiku.

- Nekada se posebno ističu teorijske i tzv. praktične discipline
- Tada se pod teorijskim delatnostima podrazumeva naučno objašnjavanje astronomskih fenomena i predikcija ukoliko se ustanove zakonitosti, a pod praktičnim se misli na skup svih delatnosti koje imaju za cilj ostvarivanje što kvalitetnijih astronomskih eksperimenata i naučne obrade tako dobijenih podataka

- Informacije o nebeskim telima se mogu prenositi do nas na više različitih načina
- Osnovni nosilac informacija u astronomiji, a dugo vremena i jedini je elektromagnetno zračenje
- U svrhu astronomskih istraživanja koristimo i različite tipove čestica (neutrini, kosmički zraci), odnosno makroskopske materije (meteoriti, uzorci materijala sa nebeskih tela prikupljeni svemirskim misijama), a u poslednje vreme veliki akcenat je dat i na analizi informacija koje nam pružaju tzv. gravitacioni talasi

- U astronomiji se sve više radi na istraživanjima koja podrazumevaju kordinisana posmatranja ponekih objekata uz pomoć više različitih nosioca informacija
- To pruža širu sliku o procesima asociranim sa razmatranim nebeskim telima (kao što su npr. tesni dvojni sistemi koje čine kompaktni objekti, konkretno neutronske zvezde i crne rupe, zatim supernove, aktivna galaktička jezgra, sunčeve baklje i dr)

- Osnovni način prikupljanja informacija o nebeskim telima jeste putem astronomskih posmatranja
- Vasioni objekti su od nas veoma udaljeni i uglavnom potpuno nedostupni direktnom ispitivanju (osim možda ponekih tela u Sunčevom sistemu)
- Nije moguće uticati na procese koji se odvijaju daleko u svemiru, npr. menjati uslove pod kojima posmatrana pojava nastaje
- Kosmičke pojave se ne mogu ni ubrzati niti usporiti
- Uslovi pod kojima se neka astronomska pojava odigrala mogu se u međuvremenu i promeniti
- Astronom često i nema jasnu informaciju o tome pod kojim uslovima se razmatrani fenomen odigrao
- Svako astronomsko posmatranje je zato jedinstveno, pa u jednom trenutku nezabeležena informacija ostaje zauvek izgubljena

- Astronomska posmatranja se bitno razlikuju od eksperimenta u fizici, koji se može ponavljati kako bi se neka pojava i uslovi pod kojom ona nastaje mnogo bolje ispitali
- Svojstva astronomskog tipa eksperimenta stavljaju ove naučnike u ne zavidan položaj, no sve te teškoće pomenute delatnosti ne bi trebalo shvatiti kao naročite prepreke, već kao svojevrsne izazove
- Jasno je da se astronomska posmatranja moraju dobro planirati – presudno je da se izgradi dobra strategija sakupljanja informacija o razmatranom nebeskom telu
- Neophodno je voditi računa i o tome da se prilikom posmatranja mogu desiti i neke ne predviđene promene na posmatranom objektu, te neočekivana otkrića
- Posmatrač mora veoma dobro da poznaje mogućnosti svog astronomskog pribora kako bi brzo i efikasno reagovao u datom trenutku vremena

- Pored izbora nosioca informacija, važan je i izbor odgovarajućeg instrumentarijuma, kao i detaljna analiza uticaja sredine između izvora i posmatrača na nosioce informacija
- Gotovo neprestani razvoj instrumenata i tehnika astronomskih posmatranja u poslednje vreme svakako ide u prilog svima onima koji izučavaju astronomske nauke
- Pravilna obrada astronomskih posmatranja je ključna kako bi se obezbedile valjane informacije o nebeskim telima

- Instrumenti kojima prikupljamo, te zatim vršimo prijem konkretnih nosioca informacija, na specifičan način utiču na rezultate samih posmatranja
- Naime, rezultat koji zapravo dobijamo jeste svojevrsna sprega realnih informacija koje pristižu sa nebeskih tela kroz kosmičku sredinu do nas i karakterističnog svojstva, odziva našeg instrumentarijuma
- Posmatrano elektromagnetno zračenje je tako npr. sprega između polja zračenja koje stiže sa nekog nebeskog tela do nas i specifičnog odziva samog posmatračkog alata
- Iz tog razloga je od presudnog značaja dobro razumeti kako astronomske instrumente zapravo rade da bi se izbegli pogrešni zaključci

- Međuzvezdana prašina, magnetno polje Galaksije, jaka gravitaciona polja, atmosfera Zemlje i dr, utiču na nosioce informacija
- Bitno je znati kakav je uticaj vasionске materije, kao i same atmosfere Zemlje na nosioce informacija

Primeri:

- Magnetno polje može bitno promeniti putanju naelektrisanih čestica koje ulaze u sastav kosmičkih zraka
- Dovoljno jako gravitaciono polje može uticati na putanju okolnih fotona
- Međuzvezdana materija selektivno slabi elektromagnetno zračenje
- Atmosfera Zemlje dovodi do deformacija, kao i slabljenja elektromagnetnog signala koji dospeva do površine naše planete
- Iz svih tih razloga je od ključnog značaja da se, pored dobrog poznavanja svojstva nosioca informacija i odgovarajućeg posmatračkog aparata, dobro poznaju i svojstva sredine između izvora i posmatrača

- Pored samih posmatranja sve više i više su u upotrebi i numeričke simulacije u astronomskim naukama
- Putem numeričkih simulacija različitih procesa u vasioni pruža se dodatna mogućnost ispitivanja različitih fenomena u svemiru
- Tako se pored već diskutovanih astronomskih posmatranja, širem pojmu astronomskog eksperimenta pridodaju i numeričke simulacije
- Naravno, nikada ne bi trebalo da zaboravimo da su astronomski eksperimenti lišeni svakog smisla ukoliko nema odgovarajuće naučne teorije koja bi ih interpretirala

- U čovekovom neposrednom okruženju, materija se može naći u čvrstom, tečnom i gasovitom agregatnom stanju
- Svim tim agregatnim stanjima je svojstven određeni stepen unutrašnje uređenosti, koji se manifestuje svojevrsnim ograničenjem srednje energije termalnog (ili toplotnog) kretanja (kinetičke energije haotične komponente kretanja) pojedinačne čestice
- Može se reći da je tip agregatnog stanja određen odnosom termalne energije čestica i energije međučestičnih interakcija
- Srednja termalna energija po čestici je najmanja za čvrsto agregatno stanja i raste za po red veličine kod tečnog, te gasovitog stanja

- Ubedljivo najviše obične materije u svemiru je u stanju koje se naziva plazma
- Skup čestica uopšte predstavlja plazmu ako je njegova priroda određena kolektivnom interakcijom između elemenata tog skupa
- Konkretno, kolektivni karakter interakcije se obično ogleda kroz to da posredstvom elektromagnetnog polja, koje potiče od svih naelektrisanih čestica nekog (bar delimično) jonizovanog gasa zajedno, uz moguće prisustvo i nekog spoljašnjeg polja, svaka pojedinačna čestica istovremeno interaguje sa svim ostalim članovima tog sistema
- U svetlu gore pomenutog, nije pogrešno reći da su kosmičke plazme jedan od osnovnih predmeta proučavanja astronomske nauke
- Ono što na noćnom nebu posmatramo kao zvezde nisu ništa drugo do elektromagnetni signali (fotoni) odaslani sa udaljenih nebeskih tela (zvezda) u stanju plazme, pre mnogo mnogo vremena

- Pod elementarnim se smatraju samo one čestice koje nemaju unutrašnju strukturu, a uobičajeno je da se one opisuju kao pobuđena stanja odgovarajućih kvantnih polja (u odgovarajućim kvantnim teorijama polja)
- Standardni model – trenutno podržana naučna teorija fizike čestica (bez gravitacije)
- U pojedinoj literaturi za sve subatomske čestice koristi termin elementarne, a baš za one, za koje se danas smatra da su bez unutrašnje strukture koristi izraz fundamentalne
- U elementarne čestice se danas ubrajaju samo leptoni, kvarkovi, kao i tzv. fundamentalni bozoni

- Elementarne čestice interaguju putem četiri trenutno poznate fundamentalne interakcije
- To su elektromagnetna, te slaba i jaka nuklearna interakcija, kao i gravitaciono međudejstvo, koje se obično posebno izdvaja
- Elektromagnetna i gravitaciona interakcija su dugog dometa, za razliku od slabe i jake
- Pod fundamentalne bozone spadaju najpre različiti kvanti polja koji posreduju osnovne interakcije u prirodi (fotoni za elektromagnetnu, tri različita tipa slabih masivnih bozona za slabu nuklearnu, osam nezavisnih vrsta gluona za jaku nuklearnu, kao i verovatno gravitoni, iako još uvek nisu potvrđeni, za gravitacionu interakciju), kao i tzv. Higsov bozon

- Bozoni su čestice čiji je spin (ili unutrašnji moment impulsa, intrinzičan ugaoni moment) celobrojan
- Pored bozona postoje i tzv. fermioni, odnosno čestice čiji spin ima polucelu vrednost
- Kvarkovi i leptoni zapravo fermioni

- U leptone spadaju elektroni, elektronski neutrinii, mioni, mionski neutrinii, kao i tzv. taoni (tau leptoni) i taonski (tau) neutrinii
- Postoji šest različitih tipova ili ukusa leptona, te još i odgovarajuće im antičestice
- Pod terminom antičestica se podrazumeva takav kvantni objekat koji ima istu masu, spin, te vreme života, dok mu se druge karakteristike, kao npr. električno naelektrisanje (koje određuje sposobnost interakcije), mogu razlikovati (odnosno, biti suprotnog znaka, a istog intenziteta) u odnosu na svojstva odgovarajuće mu čestice
- Poneke čestice su same sebi antičestice (npr. fotoni i dr)
- Pojam antičestica ne bi trebalo shavatiti doslovno, već samo kao još jednu grupu elementarnih čestica, sa specifičnim svojstvima

- Električno naelektrisanje elektrona, miona i taona je  $-e$ , dok su neutrini električno neutralni
- Takođe, danas je poznato šest tipova (tzv. ukusa kvarkova) kvarkova (u, d, s, c, b, t), kao i toliko korespondentnih im antičestica
- Elementarno naelektrisanje  $e$  iznosi  $1e \approx 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Za razliku od leptona, kvarkovi imaju električno naelektrisanje koje je manje od elementarnog, te uzima vrednost  $2/3 e$  (za u, c, t kvarkove) ili  $-1/3 e$  (za d, s, b kvarkove)
- Leptoni i kvarkovi nemaju pobuđena stanja, a dimenzije su im reda  $10^{-18} \text{ m}$

- Primećeno je da se elementarne čestice mogu svrstati u tzv. tri generacije ili familije
- Svaka generacija se sastoji od dva leptona i dva kvarka
- Mase pripadajućih čestica rastu u svakoj sledećoj generaciji
- Uz to, više generacije sadrže čestice koje su nestabilnije i koje se brzo raspadaju na čestice nižih generacija
- Prvu generaciju čine dublet elektrona i elektronskog neutrina (leptoni), te dublet koji čine u i d kvarkovi

- Kvarkovi se u prirodi ne mogu naći kao slobodne čestice, već samo u vezanim stanjima
- Hadroni su složene čestice koje upravo predstavljaju vezana stanja kvarkova
- Hadroni mogu biti barioni (obično su to vezana stanja tri kvarka, npr. protoni (uud sistem) ili recimo neutroni (udd sistem) i dr) ili mezoni (vezana stanja kvarka i antikvarka, npr. pozitivno naelektrisan pion ( $u\bar{d}$  sistem) i dr)
- Inače, barioni su fermioni, a mezoni su bozoni

- Jaka nuklearna interakcija drži na okupu kvarkove unutar hadrona
- Nuklearna interakcija ili rezidualna jaka nuklearna interakcija između nukleona predstavlja posledicu jake nuklearne interakcije, a odgovorna je za vezana stanja nukleona
- Za kvarkove je inače svojstveno tzv. boja naelektrisanje (ili samo boja ili jako naelektrisanje) koje se pak javlja u tri varijante, dok antikvarkovi poseduju analogno svojstvo antiboje

- Postoji samo jedna vrsta fotona, prenosioca elektromagnetne interakcije i oni nisu električno naelektrisani, a električno naelektrisanje može uopšte biti pozitivno ili negativno
- Kako su kvarkovi, antikvarkovi i gluoni jedine čestice koje poseduju svojstvo jakog naelektrisanja, tako je njima jedino svojstvena jaka interakcija koja se opisuje u okviru kvantne hromodinamike
- Dakle, leptoni ne učestvuju u jakim nuklearnim interakcijama, za razliku od kvarkova
- Hadroni su globalno neutralni u smislu boja naelektrisanja

- Elektromagnetna interakcija je oblik međudejstva električno naelektrisanih čestica.
- Posredstvom elektromagnetne interakcije atomi opstaju kao vezani sistemi (vezana stanja) elektrona i nukleusa (jezgra atoma, kojeg čine protoni i uopšte neutroni)
- Dodatno, molekuli su vezana stanja atoma i takođe su specifična posledica elektromagnetne interakcije
- Dakle, hemijske veze su u svojoj osnovi elektromagnetne prirode, kao i recimo sila trenja
- Jasno je da je za život kakav poznajemo na planeti Zemlji, elektromagnetno polje jedna od značajnih karika

- Ispostavlja se da su slaba i elektromagnetna interakcija zapravo različite manifestacije jedne te iste interakcije koja se naziva elektroslaba
- Naime, po Standardnom kosmološkom modelu, tokom rane faze u evoluciji svemira, tzv. epohe kvarkova (od oko  $10^{-12}$  s nakon Velikog praska, pa do početka tzv. epohe hadrona, oko  $10^{-5}$  s nakon Velikog praska), došlo je do razdvajanja elektroslabe na elektromagnetnu i slabu nuklearnu interakciju
- Najpoznatiji primer slabe interakcije su  $\beta^\pm$  raspad, te elektronski zahvat, od kojih se neki, recimo dešavaju tokom termonuklearnih procesa u jezgrima stabilnih zvezda, kao i u slučaju npr. radioaktivnog raspada izotopa ugljenika  ${}^6\text{C}^{14}$  ( $Z = 6$ ) od interesa pri likom procene starosti organske materije
- Slaba interakcija je specifična po tome što omogućava kvarkovima unutar hadrona, kao i leptonima da promene svoj tip (ukus)

- Prenosioci slabe interakcije su tri tipa masivnih bozona, često sa oznakama  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z^0$
- Slaba nuklearna interakcija je svojstvena i leptonima i kvarkovima (procesi među leptonima i procesi među kvarkovima, pojedinačno (leptonski i hadronski spori procesi), kao i tzv. semileptonski procesi u kojima učestvuju i leptoni i kvarkovi zajedno)
- Do sada nisu poznata vezana stanja koja su posledica slabe interakcije

- Protoni su jedini stabilni barioni
- Slobodni neutroni se raspadaju na protone slabim procesom

$$n \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}_e,$$

gde je sa  $n$  označen neutron, sa  $p$  proton, a sa  $e^{-}$  i  $\bar{\nu}_e$ , elektron i elektronski antineutrino, respektivno – to je, zapravo primer  $\beta^{-}$  procesa

- Neutron je sačinjen od tri konstitutivna kvarka ( $udd$ ), a samo jedan,  $d$  kvark učestvuje u procesu
- Dolazi do slabog procesa  $d \rightarrow u + W^{-}$ , kojeg momentalno prati raspad konkretnog slabog masivnog bozona  $W^{-} \rightarrow e^{-} + \bar{\nu}_e$
- Ovde se  $W^{-}$  bozoni mogu tretirati kao virtuelni ili neopservabilni, te kao čestice veoma kratkog trajanja, za razliku od standardnih realnih ili opservabilnih (manifestnih) čestica

- Vezana stanja koja nastaju pod delovanjem gravitacione interakcije su nebeska tela i njihovi sistemi
- Pri razmatranju jake, slabe i elektromagnetne interakcije elementarnih čestica se obično zanemaruje gravitaciona interakcija kako je na malim rastojanjima ona mnogo slabija od drugih fundamentalnih interakcija
- Kako još uvek nije konstruisana dovoljno uspešna teorija kvantne gravitacije, Standardni model fizike čestica ne uključuje gravitacionu interakciju i nije kompletna teorija elementarnih čestica
- Teorija gravitacije tretira ono što se obično podrazumeva pod ispoljavanjem gravitacione interakcije kao manifestaciju zakrivljenosti četvorodimenzionalnog prostor-vremena
- Ostale fundamentalne interakcije opisane su poljima definisanim na prostor-vremenu, a gravitacija je inherentna samom prostor-vremenu

- Čestice koje sačinjavaju običnu materiju u svemiru su upravo leptoni i hadroni opisani Standardnim modelom fizike čestica
- Gotovo sva obična materija u vasioni je sastavljena upravo od tzv. prve generacije elementarnih čestica
- Konkretno, uglavnom se pod terminom obična materija podrazumeva tzv. barionska materija
- Ipak, zbog primarnog udela u masi bariona, često se pod barionskom materijom podrazumevaju atomi i molekuli, iako u njihov sastav ulaze i elektroni (leptoni)
- U tom smislu se pod barionskom materijom podrazumeva gotovo sva poznata materija sa kojom se ljudi susreću

- Standardni kosmološki model opisuje vasionu u celini
- Najveći udeo u materiji čini (za sada nepoznata) tamna energija (grubo 68%), a zatim (verovatno hladna) tamna materija (grubo 27%), dok svega oko 5% ide na ostalu, pre svega barionsku materiju
- Tamna energija, kao i tamna materija nisu uključene u Standardni model fizike čestica i o njihovim svojstvima se jako slabo zna
- Termin tamna inače proističe iz toga što takva materija ne bi trebalo da interaguje elektromagnetno, te ne emituje, ne reflektuje, niti apsorbuje fotone
- Ipak, pored pomenutog svojstva, obično se pod tamnom materijom podrazumeva i to da nije barionska

- Jedan od otvorenih problema je i pitanje uočene, drastične asimetrije između broja čestica i antičestica u vasioni (nekada nazvane barionska asimetrija)
- Opservabilni kosmos je sačinjen prevashodno od materije, pa je unutar kosmoloških modela neophodno objasniti uzrok te pojave