

СТРУКТУРА ВАСИОНЕ

Врсте васионских објеката

Огроман број разноврсних објеката насељава Васиону. Најбројнији и вјероватно најважнији објекти су звијезде. У њима је концентрисан највећи дио видљиве материје Васионе. Звијезде су огромне масе гаса, боље рећи гасне плазме, које се под дејством сопственог гравитационог привлачења одржавају у сферном облику. Под дејством тежине спољашњих слојева материјал звијезде у централним областима има огромне густине а гравитационо везивање гаса доводи до његовог загријавања на огромне температуре. Унутрашњи притисак таквог гаса уравнотежава се са гравитационим. Хлађење зрачењем довело би до даље гравитационе контракције, али се то одлаже генерацијом енергије у термонуклеарним реакцијама синтезе лакших елемената у теже, које се под тим условима одвијају у њиховим централним областима. О томе смо детаљније говорили у поглављу о термонуклеарним реакцијама. Звијезде су отуд најзначајнији стабилни извори енергије у природи, и истовремено мјеста гдје се одвија еволуција материје. Класификујемо их по свим мјерљивим параметрима који су: луминозност, тип спектра, површинска температура, радијус и маса. По овим параметрима звезде заузимају широке опсеге вриједности а основни типови који се разликују управо по њиховим вриједностима су:

- **Звијезде главног низа**, које су најбројније, по димензијама се не разликују много од Сунца али им се луминозности (које зависе од површинске температуре и од масе на четврти степен) јако разликују. И Сунце спада у ову групу звијезда, које се налазе у дуготрајној стабилној фази еволуције, а извор енергије су им термонуклеарне реакције синтезе водоника у хелијум у њиховим језгрима.

- **Црвени џинови**, који су ниских површинских температура (отуд «црвени»), огромних димензија (отуд «џинови»), и великих луминозности. Густине су им мале, централне температуре високе, те у њима тече синтеза елемената тежих од хелијума. То је сљедећа фаза која очекује наше Сунце.

- **Бијели патуљци**, који имају високе површинске температуре (отуд «бијели»), мале димензије (отуд «патуљци»), и мале луминозности. Густине су им веома велике. То су мртве звијезде које по елементалном саставу више не еволуирају већ се, будући да немају унутрашњих извора енергије, постепено хладе. То је коначна судбина нашег Сунца.

Битан параметар који говори о брзини еволуције звијезде је њена маса. Звијезде већих маса еволуирају далеко брже од звијезда мањих маса. Звијезде врло великих маса еволуцију завршавају експлозивно (такозване «нове» и «супернове») а њихови остаци су неутронске звијезде и црне рупе. Неутронске звијезде су, како им име каже, састављене претежно од неутрона, а како су им густине једнаке нуклеарним густинама, веома су малих димензија, реда десетак километара. Због тога су способне за врло брзу ротацију, те њихову анизотропну емисију зрачења спољашњи посматрач види промјенљиво, са периодом ротације звијезде. То су чувени пулсари. Ако је маса неутронске звијезде већа од неке граничне, онда њена гравитација превлада и отпор нуклеарних сила, тако да звијезда колабира у црну рупу. Такви објекти имају необичну, али очекивану особину, да све што падне у њих из њих више не излази. Маса и радијус су им толики да је друга космичка брзина за њих једнака брзини свјетлости, те ни електромагнетно зрачење не излази напоље, одакле су ови објекти и добили име. Због огромних гравитационих поља ти се објекти могу описивати само општом теоријом релативности. Претпоставља се да се у центрима већине галаксија налазе огромне црне рупе, због чега ова мјеста имају велике луминозности од зрачења која емитује материја која пада у овај гравитациони понор (такозвана акреција материје). Једина заштита од концентрисања локалних маса у једну јединствену масу, а тиме коначно и у црну рупу, је кретање. Звијезде често чине гравитационо везане системе од двије или више

њих (двојне и вишеструке звијезде и звјездана јата) при чему им узајамно орбитирајуће кретање спречава гравитациони колапс. Само у случају врло блиских двоструких звијезда може да дође до сједињавања њиховог материјала, и формирања новог објекта, збирне масе.

Звијезде и звјездани скупови груписани су у огромне, такође гравитационо везане системе – галаксије. То је случај и са нашим Сунцем које је само једна од око сто милијарди звијезда колико их има наша Галаксија, огроман дисколики звјездани систем (који због изгледа на нашем небу зовемо Млијечним Путем, откуд смо и све остале такве системе назвали галаксијама; на грчком се млијеко каже «гала»). Галаксије садрже и све остале васионске објекте, облаке гаса и прашине, разне маглине или небуле, итд. Облици галаксија су разноврсни, али увијек прилично правилни. У посматрањима доступном дијелу Васионе галаксија има десетак милијарди. И галаксије се групишу у двоструке, вишеструке, и у јата или кластере галаксија.

Данас је извијесно да велики број звијезда посједује своје планетне системе, као што је то случај са нашим Сунцем. Планете нису нарочито значајне у изградњи Васионе – ови васионски објекти садрже врло мало материје, због чега у њима не могу да теку термонуклеарне реакције, те су они релативно хладни пратиоци звијезда. Међутим, управо због тога су то мјеста на којима постоје најпогоднији услови за развој живота. Значај проучавања планета и планетних система стога је веома велик.

Цјелокупна Васиона је испуњена електромагнетним зрачењем које зраче сви Васионски објекти. Укупна количина енергије коју носи електромагнетно зрачење у овој епохи развоја Васионе је мала у односу на енергију садржану у осталим видовима материје, мада имамо добрих разлога да вјерујемо да је у далекој прошлости Васионе било управо обрнуто. Главни одјек тог доба садржан је у општепрожимајућем радиозрачењу континуираног спектра које у данашњој епохи одговара ниској температури од свега 2,7 К, познатом под именом космичког позадинског (фонског) зрачења.

Васионом се креће и велики број слободних елементарних честица и атомских језгара, које се општим именом називају космичким зрацима. Енергије ових честица могу бити изузетно велике али је ипак њихова укупна енергија релативно мала. Ту спада и огроман број неутрина који лута Васионом, креираних током различитих фаза њене еволуције. Ако се испостави да, као што сада наслућујемо, неутрина имају малу али ипак ненулту масу, онда она могу да чине значајан удио у укупној маси материје у Васиони. Неутринска астрономија, чије су специфичности узроковане њиховом слабом интеракционом способношћу, тек чини прве кораке али су резултати већ веома значајни. Извјестан релативно мали део енергије Васионе се налази и у магнетним пољима различитог поријекла. Пошто се наелектрисане честице у магнетним пољима крећу убрзано, и притом зраче електромагнетно зрачење, улога магнетних поља може да буде значајна. Магнетна поља, осим тога, могу у извјесним условима и да убрзавају наелектрисане честице, што може бити поријекло и космичког зрачења.

Ту се затим налази и низ за нас егзотичних, али у Васиони потпуно уобичајених, објеката са необичним именима: пулсари, квазари, и већ поменуте неутронске звијезде и црне рупе. У тим се објектима материја по свој прилици налази у облицима који су потпуно ван нашег експерименталног искуства, али који су, како на добрим основама претпостављамо, подложне описивању помоћу наших вишеструко потврђених физичких теорија.

Конечно, Васиона по свој прилици садржи и такозвану тамну материју и тамну енергију. То су двије, како нам за сада изгледа, веома обилне компоненте Васионе које никад нисмо директно опсервирани, али о чијем постојању судимо на основу гравитационог понашања оног дијела материје коју директно опажамо. Најопштија подјела материје Васионе је отуд на луминозну или свијетлећу материју, у коју спадају све досад поменуте категорије материје које су способне за електромагнетне интеракције и за емисију електромагнетног зрачења, и на тамну материју, која учествује практично само у гравитационим активностима материје Васионе.

Структура Васионе као цјелине

Као што су звијезде основни изграђивачки елементи галаксија тако су галаксије основни градбени елементи Васионе. Опсервабилна Васиона садржи око сто милијарди галаксија. За све васионске објекте типично је да су растојања између њих знатно већа од димензија самих објеката. То важи и за звијезде у галаксијама а у случају галаксија то изгледа отприлике овако: ако просјечну галаксију замислимо као новчић величине једног динара (стварне димензије су им од 50 до 100 хиљада св. година) онда средње растојање између галаксија износи око један метар. Међугалактички простор испуњен је углавном само зрачењима и малом количином разријеђеног међугалактичког гаса. Галаксије нису равномјерно распоређене у простору. Оне се групишу у јата или кластере галаксија – гравитационо везане системе који могу да садрже од неколико десетина па и до неколико хиљада галаксија. Тек су оваква јата галаксија статистички равномјерно распоређена у простору.

Основне опсервационе особине Васионе су њена хомогеност и изотропност. Кад посматрамо разне области Васионе, увијек исте (велике) запремине, у свакој од њих ћемо у средњем наћи исти број галаксија. У томе се састоји хомогеност Васионе. Ако пак из било које тачке у Васиони вршимо посматрања у различитим правцима тада ћемо у сваком правцу, у средњем, срести исти број галаксија. Другим ријечима, у Васиони не постоји ниједно мјесто и ниједан правац који би се по ма чему разликовали од осталих: свако се мјесто равноправно може да сматра као центар Васионе или, што је исто, центар Васионе не постоји.

Сљедећа особина, која је међутим прва по својој очигледности, а можда и по значају, јесте да је ноћно небо црно. Ова чињеница не може се објаснити усвајањем чињенице о хомогености и изотропији Васионе, уз претпоставку да је она и бесконачна. У бесконачној, хомогеној и изотропној Васиони би свака сферна љуска која се од посматрача налази на растојању R садржала извора свјетлости пропорционално својој површини. Са друге стране сваки свјетлосни извор на таквој сфери би на јединицу површине сфере на којој се налази посматрач слао интензитет обрнуто пропорционалан површини те сфере. Излази да би свака сфера, без обзира ког радијуса, у средњем доприносила исти коначан износ освијетљености у датој тачки. бесконачни збир коначних износа је бесконачан, те би у сваком правцу небо требало да буде бљештаво свијетло. Овакав закључак зове се Олберсов парадокс и своје разрешење је добио тек открићем Едвина Хабла из 1929. године. Проучавајући спектре удаљених галаксија Хабл је уочио да у њима постоји помак ка црвеном дијелу спектра, тим већи што је галаксија удаљенија. Интерпретирајући овај помак као посљедицу Доплеровог ефекта то је значило да се оне удаљавају од нас, тим већом брзином што су на већем растојању. Математички запис овог исказа (Хаблов закон) гласи једноставно: $v = HR$.

Ако се растојање R изражава у милионима парсека (Mpc) а брзина удаљавања v у km/s најновија вриједност константе пропорционалности H , Хаблова константа, једнака је:

$$H \approx 75 \text{ km/s/Mpc},$$

што се чита као «километара у секунди по мегапарсеку». Ово значи да се за сваки мегапарсек удаљавања брзина удаљавања повећава за нових 75 km/s . Васиона се, дакле, шири равномјерном брзином, у свакој својој тачки на исти начин. Посљедице оваквих особина Васионе су далекосежне. За почетак, из Хабловог закона можемо наћи растојање $R=v/H$, на коме брзина удаљавања постаје једнака брзини свјетлости, $R_c=4000 \text{ Mpc}$. Дијелови Васионе који су од нас оволико удаљени удаљавају се већ брзином свјетлости. Из егзактног релативистичког израза за Доплеров ефект, кога ми нећемо писати, слиједи да зрачење емитовано из таквог извора, на мјесту пријемника има таласну дужину која тежи бесконачности. Фреквенција таквог зрачења, која је реципрочна таласној дужини, тада тежи нули, а са њом и енергија фотона који чине дато зрачење ($f=c/\lambda$ и $E=hf$). Због тога ми зрачења која одатле до нас стижу више не видимо, а енергија коју нам она доносе једнака је нули. На том растојању за нас се налази хоризонт Васионе, иза кога ми више ништа не можемо видјети. Тај опсервабилни део Васионе унутар хоризонта често зовемо Метагалаксијом.

Ширење Васионе истовремено објашњава и феномен црног неба. Не само да Васиона за сваког посматрача није бесконачна, већ су и доприноси све даљих сферних љусака све мањи и мањи, да би коначно за ону на хоризонту постали једнаки нули. Збир доприноса сјају неба од стране удаљених области не само да није бесконачан, већ је коначан и мали, осим у правцима где нам поглед наилази на блиски свијетлећи објект.

Затим, пратећи ширење Васионе у прошлост налазимо да су растојања међу галаксијама некад морала бити мања. Васиона која се шири је то ширење у одређеном тренутку своје прошлости морала да почне, и то из стања у коме је сва материја Васионе морала да се налази у стању изузетне густине. Тај тренутак и називамо Великим Праском. Ако се ширење стално одиграло истом брзином онда је растојање једнако хоризонту R_c пређено брзином свјетлости за вријеме које је једнако реципрочној вриједности Хаблове константе, $T=c/R_c=1/H$. Ово вријеме се назива Хаблово вријеме, и једнако је времену које протекло од почетка ширења Васионе па до данашњег тренутка када је хоризонт од нас удаљен R_c . Претварањем јединица налазимо да је приближна старост Васионе једнака: $T=1/H \approx 13$ милијарди година.

О еволуцији Васионе почев од Великог Праска говорили смо већ, а сада се подсјетимо да главна подршка оваквој интерпретацији опсервационих података о црвеном помаку долази независно од стране постојања космичког позадинског зрачења.

Пошто се гравитационом колапсу може да супротстави искључиво неко кретање, као што рецимо орбитирање планета спречава пад на звијезду, тако се и ширење Васионе супротставља општем гравитационом колапсу цјелокупне материје. Ако се подсјетимо да је друга космичка брзина управо она брзина коју тијело треба да има да се на Земљу више не би вратило, односно она брзина која треба да спречи гравитациони колапс Земље и тог тијела, онда можемо да замислимо да је брзина коју тијела због ширења Васионе имају на њеном хоризонту, која је једнака c , за њих друга космичка брзина, односно она која треба да спречи гравитациони колапс Васионе. Из израза за другу космичку брзину за тело на Земљи и по аналогији за тијело на хоризонту Васионе написаног израза, лако налазимо да средња густина Васионе има невјероватно малу вриједност од $10\text{--}29\text{g/cm}^3$, што нам говори колико је материја Васионе разријеђена. Ова се величина зове критична густина Васионе због следећег разматрања. Опажено ширење Васионе требало би, наиме, да се стално успорава узајамним гравитирањем свих маса у њој, баш као што привлачење Земље успорава ракету која је избачена са ње. Величина овог успорења зависи од количине материје у Васиони, односно од густине Васионе. Већа густина више ће успоравати ширење. Ако је стварна густина Васионе једнака баш критичној онда је гравитациона потенцијална енергија једнака кинетичкој енергији ширења, укупна енергија је једнака нули, и ширење Васионе ће се стално смањујућом брзином наставити до бесконачности, баш као ракета која другом космичком брзином напушта Земљу. Ако је стварна густина већа од критичне тада је потенцијална енергија привлачења већа од кинетичке, Васиона је у везаном стању, тако да ће ширење у једном тренутку престати, да би после ње настала фаза гравитационог сажимања. На исти начин би ракета поново пала на Земљу ако би јој брзина била мања од критичне. Сажимање Васионе морало би да доведе поново до стања одакле је Велики Прасак и почео, те би се све поновило (пулсирајућа Васиона). Коначно, ако је густина Васионе мања од критичне, гравитациона енергија је мања од кинетичке, Васиона је у слободном стању и ширење ће се незадрживо наставити до бесконачности.

Ово наше једноставно предвиђање будућности Васионе на основу класичне механике и Њутнове теорије гравитације потпуно се слаже са оним на основу примјене опште теорије релативности, са разликом да се особине Васионе у таквом егзактном третману додатно разликују у три горња случаја.

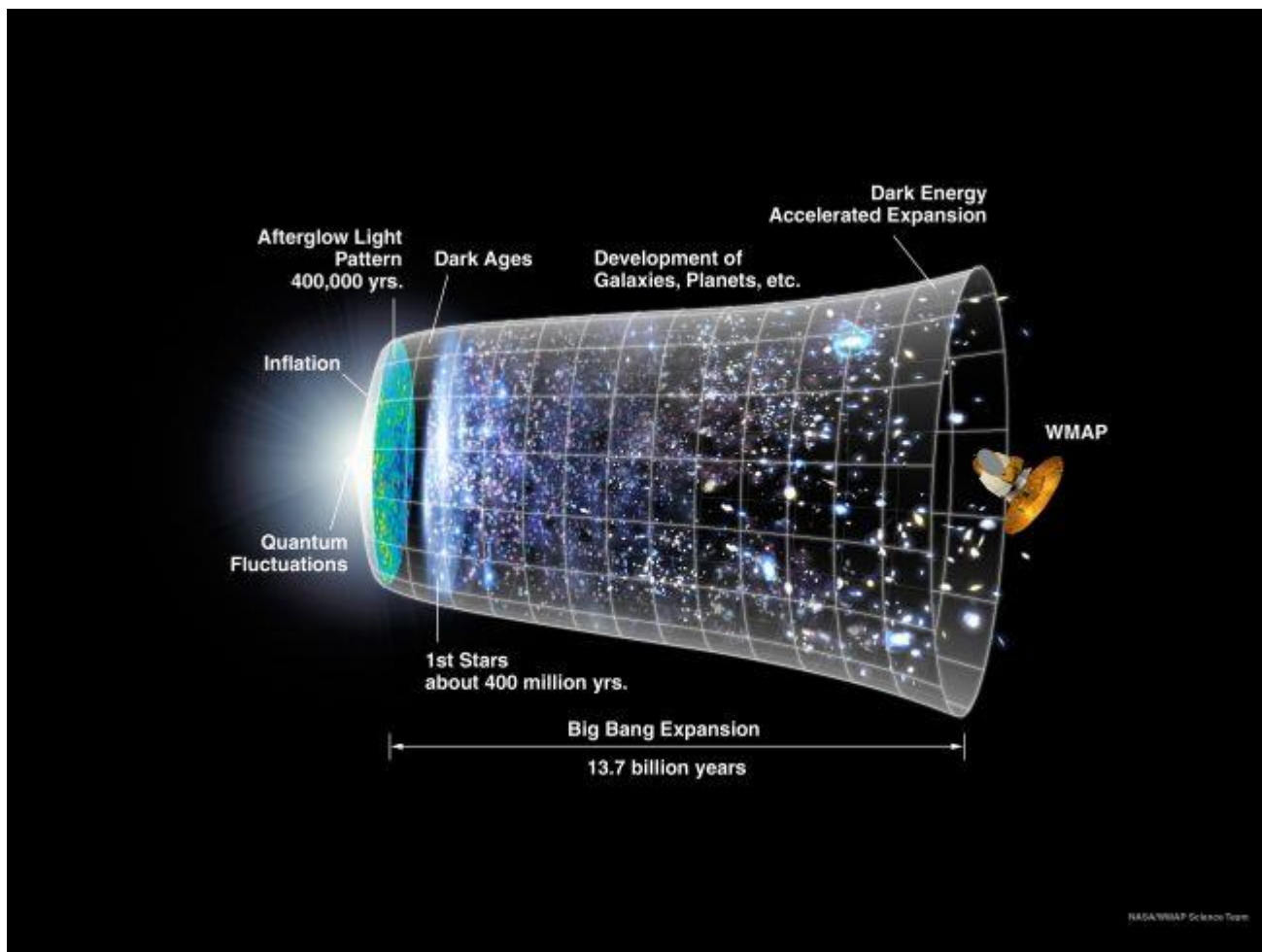
Ако је густина једнака критичној Васиона је равна, односно простор је Еуклидовски, што рецимо значи да је збир углова у троуглу (циновских размјера) једнак 180 степени. Ако је густина већа од критичне Васиона је затворена, а простор је крив на такав начин да је збир углова у троуглу мањи од 180 степени. Ако је густина мања од критичне Васиона је отворена, а простор закривљен тако да је збир углова у троуглу већи од 180 степени. Сав наш до сада прикупљени посматрачки материјал о Васиони говори да је она равна, те да је густина заиста једнака критичној.

Притом се јавља проблем што наша цјелокупна евиденција о количини материје у Васиони, која је заснована на анализи луминозне материје коју једино видимо, не даје више од око 5% материје потребне за критичну густину. Одатле закључујемо да у Васиони мора да постоји велика количина тамне материје, која гравитира али се не види. Поред тога, постоје извјесне индиције да се ширење Васионе убрзава како вријеме протиче, што значи да Хаблов закон није баш тачно закон директне пропорционалности између брзине удаљавања и растојања. Ово компликује модел Васионе и тражи да се у инвентар материје Васионе уведе и такозвана тамна енергија, која би својим одбојним дјеловањем била одговорна за овако њено понашање.

ПОРИЈЕКЛО И РАЗВОЈ НЕБЕСКИХ ТИЈЕЛА

Почев од Великог Праска на овамо еволуција материје се све до њеног данашњег стања, па и у будућност, може највећим делом разумјети и предвидјети на основу наших знања о понашању материје која смо стекли проучавајући је на Земљи. Ово је разумљиво – Земља је саставни дио Васионе, потпуно равноправан са сваким другим, и материја се овдје понаша исто као и на свим другим мјестима. Извјесне ограде треба имати само по питању познавања понашања материје у нама потпуно непознатим екстремним условима, који су на другим мјестима и у другим временима у Васиони присутни, а ми немамо прилику да их директно упознамо.

Историју еволуције материје почев од Великог Праска са гледишта њене елементарно-честичне структуре смо укратко проследијели у поглављу о елементарним честицама. Ту смо видјели како су се формирале елементарне честице прве генерације, као и њихови везани системи, који данас граде цјелокупну видљиву материју. Сада ћемо обратити пажњу на формирање васионских објеката у том процесу. Као битне «клице» гравитационе кондензације материје у будуће галаксије, које су морале да се формирају још у најранијим фазама Великог Праска, јављају се као једина могућност такозване квантне флукуације густине у том пакленом и неорганизованом коктелу свих могућих видова материје. Да се са ширењем Васионе те флукуације не би изравнале и изгубиле потребно је да се на неки начин за извјесно вријеме прекине свака интеракција између различитих области у тој густој Васиони и тако за у будућност «заледи» та флукуациона структура. У квантним теоријама поља постоји принципијелна могућност да се нешто тако заиста и деси. Могуће је постојање нарочитог «инфлатонског» поља које би на тим огромним густинама могло да доведе до «раздувавања» Васионе надсвјетлосном брзином, што би у врло кратком времену повећало њене димензије за 50 редова величине. У овој фази инфлације Васиона би се изравнала, изотропирала и хомогенизовала, памтећи флукуациону ситуацију која јој је претходила. Даље ширење, сада већ у складу са Хабловим законом, доводи до преостајања само стабилних видова материје, формирања лаких језгара па затим и атома, и ослобађања позадинског микроталасног зрачења. Таква материја концентрисана у преживјелим квантним флукуацијама затим гравитирањем гради галаксије и остале објекте које их сачињавају. Те почетне квантне флукуације густине требало би и дан данас да се виде и као мале флукуације иначе савршено униформног позадинског зрачења. Када су два специјална сателита која су послана управо са специјалном мисијом детаљног снимања интензитета позадинског зрачења (COBE и WMAP), током низа година заиста и измјерила флукуације овог зрачења потпуно у складу са горе изложеним сценаријом, то је представљало велики тријумф наших погледа на овај најранији период постојања Васионе (Нобелова награда 2006.). Види слику.



Када је једном овако разријешен проблем настанка галаксија, проблем формирања осталих Васионских објеката и даље еволуције материје је далеко једноставнији. Захваљујући брзим рачунарима са великим меморијама могуће је вјерно симулирати понашања гравитирајуће материје у најразноврснијим сложеним конфигурацијама. Уз одговарајуће почетне услове могуће је репродуковати формирање и еволуцију већине опажених облика у којима се материја у Васиони јавља, звијезда, галаксија и њихових гравитационо везаних система. Еволуција у теже хемијске елементе у процесима звјездане нуклеарне синтезе (описана у поглављу о термонуклеарним реакцијама) објашњава не само садашњи састав материје у Васиони, већ и временске скале постојања стационарних стања звијезда и њихових планетних система, укључујући и наш сопствени.

Поријекло дуготрајних стабилних и врло прецизно дефинисаних услова, потребних за настанак, спору еволуцију и опстанак живота, тог најсложенијег и најкрхкијег облика организације материје, тиме је у основним цртама објашњено. Но низ детаља у овој слици тражи додатна тумачења. Још нам није јасно каква је, од неколико могућности, природа оног дијела материје која се не види, не знамо да ли се и протон, а тиме уствари и цијела материја, ипак јако спорим темпом распада, итд. Будући одговори на ова питања ће несумњиво измијенити нека од наших схватања о еволуцији Васионе.