

УСПЕХИ НА НАБЛЮДАТЕЛНАТА КОСМОЛОГИЯ

Марин Калинков^{*}

Не е вярно общоизвестното твърдение за най-древната професия. Още в своето детство човечеството си е задавало вечните въпроси: от къде сме? какво има около нас? как е създадено? какво ще настъпи после? и др. подобни. Така във всяка група, общност, населено място е имало поне един човек способен да отговори на тези въпроси. Дали ще го наречем магьосник, шаман или жрец, няма значение, тъй като по същество професията му е била на космолог. Всичко това се потвърждава от скалните рисунки, създадени преди десетки хиляди години.

КРАТКА ИСТОРИЯ НА КОСМОЛОГИЯТА

В историята на цивилизацията космологията заема особено положение. Не е съществувала култура, в която да не са били вплетени космологични митове, както и не са били развивани религиозни системи без космологични представи. Изобщо духовното винаги е било преплетено с космологичното.

Въпросите за времето и пространството са били поставени на рационалистична основа още от древните гърци. Но до 19-ти век обект на астрономията си остава само *Малката вселена* – предимно Слънчевата система и наблюдателни основания за научни съждения за цялата Вселена все още няма. През миналия век започва активното изучаване на звездите и мъглявините. Основания все още няма. Едва Едуин Хъбъл (1924 г.) доказва съществуването на други звездни системи, на галактиките, подобни на нашата Галактика или Млечния път, и започва пробивът в *Голямата вселена*.

Хъбъл остава дълго време на върха на вълната той успява да класифицира галактиките, открива разширението на Вселената, определя закона за поглъщането на светлината в Млечния път, изучава разпределението на галактиките в пространството и др. Неговите успехи се коренят не само в интелектуалните му възможности, но и във възможностите за наблюдения. Той е работил с най-големия тогавашен телескоп с диаметър на огледалото 2,5 m (обсерваторията Маунт Уилсън).¹

^{*} ст. н. с. – 1 ст. дфн, ИА, БАН

Любопитно е да се спомене един погрешен извод на Хъбъл, а именно, че *куповете от галактики са изключение*. Този извод се дължи на факта, че 2,5 m телескоп има малко поле, около 10', а видимите размери на по-близките купове са по-големи (Хъбъл е работил с не много чувствителни фотоплаки – не е могъл да наблюдава далечни купове). Фантастичният авторитет на Хъбъл е забавил повсеместното изследване на куповете – първият каталог се появява едва през 1958 г. (на Ейбл). Докато по времето на Хъбъл е било възприемано, че основните тухлички на Вселената са галактиките, то днес се смята, че куповете са фундаменталните елементи. Ако основите на наблюдателната космология са поставени от Хъбъл, то теоретичните основи датират от 1916 г., когато Айнщайн завършва Общата теория на относителността. Куриозно е, че най-напред се разработва релативистичната космология, докато нютоновата (нерелативистичната) се обосновава по-късно.²

Айнщайн търси статични решения на своите уравнения и не е удовлетворен. Така Айнщайн, който е убеден, че Вселената трябва да е статична, въвежда членът Λ , наречен *космологичен член на Айнщайн*. Ако $\Lambda > 0$, неговото действие е еквивалентно на отблъскване. Според Едингтън (1930 г.) моделът на Айнщайн е нестабилен. По-късно Александър Фридман (1922 г.) намира нестатични решения, от които следва, че Вселената би могла да се разширява (или свива). Решенията на Фридман са преоткрити от Жорж Льомер (1927 г.), който същата година получава докторска степен в Масачузетския технологически институт. Сега обикновено уравнението се наричат с имената на Фридман и Льомер. Но първооткривателят е Фридман.

С Льомер идеята за всеобщото разширение на Вселената започва да си пробива път. По-късно Айнщайн нарича въвеждането на Λ “най-голямата грешка в моя живот”. И като че ли работата с космологичния член приключва. Но не би.

През 1967 г. се наблюдаваше струпване на квазари с червено отместване $z = 1,95$ ³ и някои космолози извикаха на помощ Λ - за да обяснят забавяне на разширението при това червено отместване. Въпросът се реши и без космологичния член (тъй като струпването се оказва флукутация). Λ отново тъне в забрава. Изваждат го преди няколко години. Днес той също се отбелязва с Λ , но вече се нарича *енергия на вакуума*. Фаворизираният днес космологичен модел на Вселената не може да мине без Λ !

Айнщайн е първият, въвел космологичния принцип, който накратко може да се формулира така: Вселената е една и съща,

независимо от положението на наблюдателя. Или: глобалните характеристики на Вселената са едни и същи, независимо от местоположението на наблюдателите. В този си вариант космологичният принцип върши добра работа. Той е продължение на Коперниковия принцип и просто изразява ужаса на астрономите от мисълта, че ние заемаме централно или привилегировано положение във Вселената.

Обаче по времето, когато Хърман Бонди, Томас Голд и Фред Хойл разработваха теорията на *стационарната Вселена* – steady state theory – 1948 г., беше предложен съвършеният космологичен принцип: Вселената е една и съща за *всеки наблюдател във всеки момент*. Този принцип не е оперативен, той не само не дава нещо ново, но и отрича нещо известно.⁴

През 1948 г. школата на Джордж (Георгий) Гамов (Ралф Алфър и Робърт Хърман), основавайки се на разширяването на Вселената, показаха, че в миналото тя трябва да е имала освен голяма плътност и много висока температура. От това твърде далечно минало е останало реликтовото лъчение, изпълващо Вселената, с температура между 5 К и 50 К.

През 1964 г. Арно Пензиъс и Робърт Уилсън съвършено случайно откриха фоновото лъчение, идващо от всички точки на небето. От тогава започна победоносният поход на Големия взрив (**Big Bang**), понякога наричан и Горещият голям взрив или Горещата Вселена⁵ (за разлика от Студената Вселена).

Следващите големи стъпки бяха направени през 1992 г. и 1998-99 гг. Може би 1998 г. е преломна за наблюдателната космология, тъй като именно тогава бяха направени открития, недвусмислено подкрепящи т.нар. Голям взрив + Студена тъмна материя.

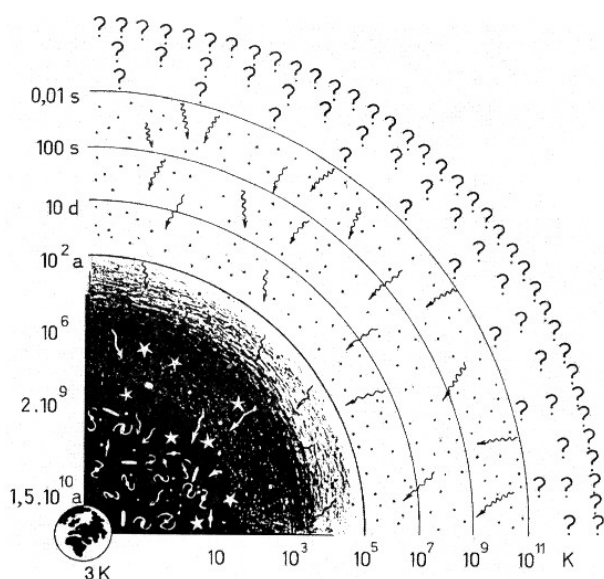
НАКРАТКО ЗА ГОЛЕМИЯ ВЗРИВ

Преди около 15 милиарда години се е случило нещо невероятно създаването на нашата Вселена. Вселената е "родена" разширяваща се, така че освен специфичните физически процеси, се е осъществявало и изстиване, понижаване на температурата. След последователната смяна на различни ери е започнало образуването на обектите, докато в сегашната епоха Вселената е вече силно структурирана. Около нас съществуват най-разнородни обекти, като общото между тях е йерархията.

Слънчевата система сама по себе си е една йерархична структура (да се надяваме, че има и други подобни), състояща се от субструктури – планетни системи, астероидни семейства и семейства, кометни семейства, облаци от комети. Същото е и в Млечния път и в другите галактики – двойни звезди, кратни звезди купове от звезди, спирали, комплекси и др. Същото важи и за света на галактиките – двойни галактики, гнезда от галактики, мултиплети, групи от галактики, купове, свръхкупове. И като че ли тук йерархията се прекъсва – по-гигантски структури изглежда не съществуват. Размерите на най-големите свръхкупове от галактики са от порядъка на 60-120 Мрс.

Йерархичните структури сигурно са свързани с тяхното формиране.

Достатъчно е да се съобрази, че колкото по-далечни обекти наблюдаваме, толкова по-млади ги виждаме и изведнъж дълбокият смисъл на диаграмата от фигурата се изяснява.



В центъра е Земята, на възраст около 15 милиарда години (за $H_0 = 65 \text{ km/(s.Mpc)}$) и с температура на фоновото лъчение около 3 K. Най-структурирана е близката Вселена – до около 1 Грс. Сред по-далечните обекти структурността намалява. Стигаме до най-младите галактики –

зад тях масивни обекти все още не са се образували, а в най-далечното минало е имало само лъчение. С увеличаване на разстоянието намалява и нашата информираност за състоянието на Вселената. Възрастта и температурата са посочени само информативно.

След малко по-подробно описание на Големия взрив, близо до т.нар. Стандартен модел, въведен още преди повече от четвърт век с леката ръка на Стивън Уайнбърг.

Никаква информация не е достъпна за момента $t = 0$ и е абсолютно безсмислено да си задаваме въпроса какво е било преди това.

Съществено е времето около $t = 10^{-43}$ s – това е *Планковата ера*, когато плътността е 10^{94} g/cm³. Само успешното намиране на съвременния философски камък – *Теория на всичко*, ще ни помогне да разберем станалите физически процеси. Това време се нарича и *ера на квантовата гравитация*.

До $t = 10^{-35}$ s е *ерата на Великото обединение*, когато е приложима Теорията на Великото обединение. Тогава започва **инфлацията** (вж. по-долу) и настъпва *ерата на доминиращия вакуум*. Краят на инфлацията е при $t = 10^{-32}$ s.

Около $t = 10^{-12}$ s е *ерата на слабите взаимодействия* и тогава започва ерата на лъчение. При $t = 10$ s се образуват нуклоните и мюонното неутрино се отделя от антинеутрино, а при $t \approx 1$ s е отделянето при електронното неутрино.

При $t \approx 4$ s имаме аниhilация на електрони и позитрони и около $t = 100$ s се синтезират D, ³He и ⁷Li. Тогава температурата е около 10^9 K. Процесите за тази епоха са получени от данните на физиката на високите енергии и ядрената физика, екстраполирани за високите плътности и температури.

При $t \approx 10^{13}$ s $\approx 150\,000$ а (това отговаря на $z \approx 1000$) става отделянето на барионите от лъчението. Тогава температурата е около 4000 K и се образуват атомите. От тогава датира и космическото фоново лъчение.

Структурите започват да се образуват при $t \approx 10^9$ а (при $z = 2 \div 10$); започва формирането на квазарите, галактиките, структурите нарастват, създават се слети обекти (mergers).

При $t = 1,5 \cdot 10^{10}$ год имаме съвременната епоха.

Ясно е, че фигурата не е съвсем точна, тъй като все пак знаем нещо за времето $t \leq 10^{-2}$ s.

След 1972 г. много работи се промениха – Стандартният модел непрекъснато се видоизменяше и допълваше с нови и потвърждаващи

наблюдения и все си оставаше “стандартен”. Най-сериозната добавка е инфлацията.

Границите на приложимост на съвременната физика лесно може да се установят.

Да разгледаме толкова компактен обект, че да се съдържа в Шварцшилдовия радиус. От гледна точка на квантовата механика размерите му трябва да са сравними с Комптъновата дължина на вълната. Имаме

$$t_p \equiv (hG/2\pi c^5)^{1/2}$$

Планковото време (Планкова ера),

$$\rho_p \equiv 2\pi c^5/hG^2$$

Планковата плътност (в Планковата ера),

$$T_p \sim (c^2 \rho_p/a)^{1/4} \sim 10^{32} \text{ K}$$

Планковата температура, където a е константата на плътността на излъчване.

Следователно за време $t < t_p$ законите на физиката не работят.

КИТОВЕТЕ

Съвременната представа за Големия взрив се базира върху няколко големи и средни кита.

Най-големият кит е **законът на Хъбъл** или **всеобщото разширение на Вселената**, предсказано от Фридман въз основа на ОТО. Този факт може да се разглежда като независимо потвърждение на Айнщайновата гравитационна теория. Разширението е открито от Хъбъл (1929 г.). Най-простият израз е $V = H_0 R$, където R е разстоянието, а H_0 е константата на Хъбъл за сегашната епоха.⁶ H_0 определя пространствената и времевата скала на Вселената. Съгласно космологичния принцип, който сигурно е изпълнен за по-големи разстояния, Вселената е еднородна и изотропна. И това е валидно само ако в закона на Хъбъл имаме R на първа степен и H_0 е константа. В противен случай космологичният принцип ще бъде нарушен.

Може би най-важният въпрос в миналото беше определянето на H_0 с по-малка неопределеност.

Вече няколко десетилетия две групи спорят за константата на Хъбъл – Жерар дьо Вокулъор и съавтори - $H_0 = 100 \text{ km/(s.Mpc)}$ и Алан Сандейдж и Густав Таман - $H_0 = 50 \text{ km/(s.Mpc)}$. С втората стойност Вселената е два пъти по-голяма и два пъти по-стара. Малко преди смъртта си през 1995 г. д-р Вокулъор незначително намали своята оценка, а Таман незначително я увеличи.

Толкова ли беше трудно да се намери достоверна оценка на H_0 ? Наистина е неимоверно трудно.⁷

Едва през 1998 г. резултатите от наблюденията с Космическия телескоп “Хъбъл” и с телескопите Кек се стигна до консенсус:

$$H_0 = 65 \pm 5 \text{ km/(s.Mpc)},$$

което води до $T_0 = 15.10^9$ а (Сол Перлмютер и др., 1998 – 1999 г.), Брайън Шмид и др. (1998 г.) Бари Мадоре и др. (1998 – 1999 г.), Уенди Фрийдман и др. (1998 – 1999 г.). Някои статии още не са публикувани, но благодарение на www са достояние на всички интересувани се. Броят на авторите на някои статии е твърде голям (напр. с Перлмютер – 32 души) и по интернационалност напомнят многоавторските статии по физика на елементарните частици.

Всеобщото разширение определено сочи, че по-младата Вселена трябва да притежава по-висока плътност и по-малки размери. Проста екстраполация в миналото води до Големия взрив, когато Вселената се е намирала в странно състояние – сингулярно, за което нищо не знаем.

Вторият кит е **Космическото фоново лъчение** или Микровълновото космическо излъчване. Може би най-правилен е терминът, предложен от Йосиф Шкловски – **реликтовото радиоизлъчване**. И този кит е предсказан теоретично.

Школата на Гамов, когато предлага теорията за Големия взрив, прави два важни извода – в далечното минало е имало *ера на излъчване*, когато Вселената е съдържала предимно радиация (значително превишаваща плътността на материята) и радиацията е оцеляла при разширението на Вселената чак до наши дни.

През 1964 г., когато Пензиас и Уилсън (Лабораториите Бел) откриват фоново шумене, за което получиха Нобеловата награда за физика за 1978 г., те не подозират какво е това. По същото това време Джим Пийблс в Принстън повтаря пресмятанията на Гамов. Ако най-

разпространените елементи във Вселената водород и хелий са се образували при температура 3000 К и оттогава Вселената се е разширила около 1000 пъти, температурата на реликтовото радиоизлъчване сега трябва да е 10 К. По-детайлно изследване на Робърт Дике и Пийблс доведе до 3 К. И двамата са били убедени, че са първите, които започват експеримент по детектиране на реликтовото радиоизлъчване ...

Пензиас и Уилсън оценяват температурата наистина на 3 К. *Днес, най-добрата оценка на температурата на фоновото лъчение е $3,728 \pm 0,002$ К.* Спектърът на реликтовото радиоизлъчване е Планков, както и би трябвало да се очаква.

Съществуването на космическото микровълново лъчение подкрепя само космологията на Големия взрив. То е необяснимо в теорията на стационарната Вселена.

Ясно е, че реликтовото радиоизлъчване е отглас от Големия взрив. Но днес имаме и съвършено независимо потвърждение, което дори може да се разглежда и като друг кит.

Неотдавна е измерена температурата на далечни междугалактични облаци – тя се оказала 7,6 К – тъкмо толкова, колкото трябва да бъде на това разстояние (или в онзи момент).

Между другото фоновото радиоизлъчване е най-мощният инструмент за изучаването на движението на Земята (и на Слънчевата система), защото представлява естествена абсолютна (доколкото това прилагателно е приложимо) отправна система. От самото откриване на фона са търсени флуктуации в измерената температура, т.е. $\Delta T/T$. Намерените неголеми флуктуации имат диполен характер и позволяват само една единствена интерпретация в термини скорост на наблюдателя – около 360 km/s. Това е изключително важен въпрос и той има отношение към кинематиката и динамиката на близката Вселена, към полето на скоростите, към Местния свръхкуп и към интригуващия Велик Атрактор, но тук ние няма да го разглеждаме.

Третият кит е **Нуклеосинтезът на елементите**, разгледан за пръв път от Гамов.

Същността е много проста. Успехът при Големия взрив се състои в това, че теорията предсказва сегашното обилие на леките елементи. Според нея днешното обилие на He, в първо приближение, трябва да е 24 %, а всичко останало е H, докато наблюденията дават 23 % с формална грешка 0,4 % (за презастраховка се приема грешка 1 %). Вярно е, че хелий се произвежда в недрата на звездите, но

произведеното количество е нищожно и не нарушава първоначалния баланс He – H.

Измежду четирите най-леки елемента най-чувствително към плътността на обикновената (барионна) материя в Големия взрив е производството на деутерия. Затова Дейвид Шрам и Майкъл Търнър през 1998 г. го нарекоха “бариометър”. За съжаление деутерият е твърде “деликатен” и много лесно чезне при ядрените реакции в звездите. Обаче през същата година Дейвид Тайтлър и Скот Бърлис успяха да измерят обилието на деутерия в далечни водородни облаци. Тези наблюдения налагат силни ограничения на обикновената материя – само $(5 \pm 0,5) \%$ от критичната средна плътност на Вселената (за $H_0 = 65 \text{ km/(s.Mpc)}$). Този резултат не е неочакван, тъй като много други съображения и размисли водеха именно до тези 5 %. Друго е, все пак, когато има чисто наблюдателно потвърждение.

И така, от най-обща физическа гледна точка, без да се изисква никаква нова физика, без въвеждането на каквито и да са свободни параметри, предсказаното, в рамките на Големия взрив, днешно обилие на елементите се съгласува с днешните наблюдения за H, ^4He , D, ^3He и ^7Li , наредени по разпространение.

Четвъртият кит са флуктуации в реликтовото радиоизлъчване.

Те са търсени още от 1965 г. Първите наблюдения бяха неточни, но наблюдателната техника бързо се усъвършенстваше и $\Delta T/T$ беше мерено с точност до 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} . Най-напред беше открита скоростта на Земята по отношение на отправната система на реликтовото радиоизлъчване, но истински флуктуации не бяха намерени. А това е фундаментален въпрос.

Ако липсват флуктуации във фоновото лъчение, съществуването на каквито и да са космически обекти е необяснимо. По всеобщо убеждение (а и никаква друга идея не е предлагана) всички структури се зараждат вследствие на гравитационната нестабилност: започва колапс, но без фатален край (черна дупка) и се образува някакъв обект – протозвезда, която се развива в звезда, ако при налягането в централните ѝ части се достигне висока температура и се създадат условия за ядрени реакции. В противен случай обектът е неосъществена звезда (например кафяво джудже).

Фоновото лъчение е взаимодействало за последен път с веществото само преди 150 000 години след Големия взрив. Тогава във веществото е трябвало да има наченки на структури, безусловно създали флуктуации в температурата.

Търсенето на флуктуации в реликтовото радиоизлъчване постигна успех през 1992 г., когато Джордж Смут и неговата група съобщиха за $\Delta T/T \gg 10^{-5}$ (с помощта на спътника COBE – COsmic Background Explorer) на НАСА, изстрелян през 1989 г.

Откриването на тези флуктуации е пряко свързано с теориите за образуването на структурите. Успешно работеща теория, обясняваща произхода на всички структури, все още не е разработена, но основните идеи вече са предложени.

Големият взрив се базира и върху други по-малки китове, но ние няма да ги разглеждаме. До тук е ясно, че теорията за Големия взрив е непротиворечива и изпълнява най-силното изискване към съвременната теория – предсказване на нови явления.

Но теорията оставяше и все още оставя неразрешени въпроси. В недалечното минало това беше въпросът за гладкостта на реликтовия фон.

Да разгледаме две раздалечени области върху небесната сфера. С точност до $\Delta T/T \gg 10^{-4}$ те имат една и съща температура. Защо – след като не са причинно свързани? Откъде едната област *знае* каква е температурата на другата?

И друг въпрос – до преди двадесетина години се смяташе, че средната плътност на материята е 10 % от т.нар. критична плътност, което изисква плоско пространство. Защо наблюдаваната плътност е толкова близка до критичната? Защо не е 0,0001 % или 1000 %?

Тези, както и други подобни въпроси, намериха своето естествено обяснение, а именно, че в достатъчно ранна епоха младата Вселена се е разширявала експоненциално. От тук – **инфлация**. Така се обяснява изравняването на температурите. А инфлационната Вселена просто предсказва плоско пространство.

Теорията за инфлацията е разработена от Алан Гут (1981 г.) и Андрей Линде (1982 г.).

КОСМОЛОГИЧНИ ПАРАМЕТРИ

В космологията се въвеждат няколко параметъра, които описват най-общите възможни свойства на Вселената. Параметрите не са независими и това позволява тяхното съгласуване.

Константата на Хъбъл се дефинира с $H = \dot{e}/a$, където a е мащабният фактор. Наистина, като пренебрегнем пекулярните скорости и не разглеждаме гравитационно свързани системи, физическото разстояние между две галактики е

$$R(t) = R^0 a(t)$$

а скоростта на разширение е $V = \dot{R} = R^0 \dot{a} = R \dot{a}/a \equiv H R$

Класическите методи за определяне на константата на Хъбъл са чрез *индикатори на разстоянието* и с помощта на *диаграмата на Хъбъл*. Индикаторите на разстояние представляват обекти, които имат една и съща светимост (в космологията подобни обекти се наричат *стандартни свещи* – candles) и тяхното разсейване не е голямо (малка космическа дисперсия). За индикатори се използват цефеидите и други променливи звезди, най-ярките звезди в галактиките, размерите на водородните облаци, сферичните звездни купове, дебелината на пресечените спирални галактики, самите размери на галактиките и др. Най-трудната стъпка беше определянето на разстоянията до т.нар. първични индикатори, които се наблюдават в нашата Галактика и в най-близките ни съседни галактики. После се прилагат вторични индикатори – наблюдаеми в по-далечните галактики, третични и т.н. Естествено всеки следващ индикатор трябва да се калибрира по предишния и това увеличава грешката в H_0 .

Всъщност всяко калибриране внася систематични грешки и именно те бяха най-голямата беда в извънгалактичната астрономия. Истинско чудо е, че константата на Хъбъл беше локализирана само в интервала $(50 \div 100) \text{ km}/(\text{s.Mpc})$. До преди няколко години грешка от 100 % при определянето на H_0 се възприемаше като естествена. Споменаваните от някои автори грешки от $1 \text{ s} \pm (21, 15, 10, 7, 6) \text{ km}/(\text{s.Mpc})$ са формални и не отразяват систематичните грешки.

Диаграмата на Хъбъл е връзката между $\lg z$ (или $\lg V$) и звездната величина m . Тя също се отнася само за стандартни източници (от които например трябва да се изключат квазарите), макар че е приложима и за извадка от някаква генерална съвкупност – например елиптични галактики; тогава диаграмата има голямо разсейване, само увеличаването на статистиката позволява да се оцени H_0 .

Днес се прилагат нови методи, които, съчетани с прогреса на наблюдателната техника (Космическият телескоп "Хъбъл", серията от 10 m телескопи и чувствителните твърдотелни приемници - не фотоплака) водят до радикално редуциране на систематичните грешки.

Ето някои от новите методи.

Гравитационни лещи. Те са следствие от знаменития Айнщайнов ефект от ОТО за изкривяване на светлинните лъчи в гравитационни полета. По-рано са смятали, че далечна звезда, наблюдаема в съседство с близка звезда, ще бъде видимо отместена. Още Орест Хволсон (1924 г.) е отбелязал, че трябва да се наблюдават и учетворени образи, а също и пръстени - когато далечната звезда е точно зад близката. Айнщайн е обърнал внимание, че този ефект е ненаблюдаем при звезди, а Цвики (1937 г.) предсказа, че гравитационните лещи трябва да са галактики и купове от галактики и ги нарича *естествени телескопи*. Теорията на гравитационните лещи е започнала да се разработва от Айнщайн още през 1912 г., когато е извел уравнението на лещата (съхранен ръкопис; Айнщайн не е сметнал, че това е работа, достойна за публикуване). В ново време теорията започва да се разработва от Шур Рефсдал (1964 г.) и благодарение на много учени като че ли вече е завършена. Предсказани са много разнообразни явления - *кръстове* и *пръстени* (наричани на Айнщайн), *дъги*, *дъгички*, *мултиплетни образи* и много други.

Първата гравитационна леща е открита през 1979 г. - оказва се, че двоен квазар, наблюдаван първоначално в радиодиапазона, има два идентични оптически спектъра. Първото предположение, че това е гравитационна леща, се оказва вярно и бе потвърдено с наблюдаването на самата галактика-леща. Днес са известни около стотина гравитационни лещи и те представляват изключително мощен инструмент за изучаване на Вселената. Това, че гравитационният потенциал действа като коефициент на пречупване, ни позволява наистина като с естествен телескоп да наблюдаваме обекти, недостижими за съвременните телескопи.

Най-важното в случая е, че всички теоретични предсказани явления са наблюдавани. Това е може би най-големият триумф на физиката и сигурно е най-блестящото постижение на ОТО. Следващото трябва да бъдат черните дупки, за които днес има много косвени, но все още не и директни, наблюдателни доказателства.

Та още Рафсдал е разгледал случая, когато гравитационната леща формира два образа на далечен променлив обект. Тъй като лъчите до двата образа изминават различни пътища, то кривите на блясъка ще бъдат отместени във времето. Елементарно е само по разликата във времето да се определи H_0 . И то без да се знаят характеристиките нито на далечния източник, нито на лещата.

Наблюдавани са десетина променливи квазара и за три от тях времевата разлика е определена – от порядъка на стотици денонощия. Предварителната оценка е $H_0 = (64 \pm 7) \text{ km/(s.Mpc)}$, обаче систематичната е $\pm 9 \text{ km/(s.Mpc)}$.

Ефект на Сюняев-Зелдович. Този ефект е предсказан от Рашид Сюняев и Яков Зелдович през 1969 г.; фотоните на реликтовото радиоизлъчване изпитват обратно Комптъново разсейване от горещите електрони на рентгеновия газ ($T \approx 10^7 \text{ K}$) в куповете от галактики и създаденият декремент в космическото фоново лъчение може да бъде измерен. Това позволява оценяването на H_0 . Засега този метод не е точен и дава $50 < H_0 < 70$. Надеждите са в изстрелването на рентгеновата обсерватория “Чандра” (от Чандрасекар; по първоначален проект това е AXAF) и тогава точността ще се повиши.

Свърхнови от тип Ia (SNIa). Това е всъщност класически индикатор, но в съвременно изпълнение. Разработва се като основен (ключов) проект с Космическия телескоп "Хъбъл", специално ориентиран към оценяването на H_0 , а също и на други космологични параметри. Цитираният по-горе резултат $H_0 = (65 \pm 5) \text{ km/(s.Mpc)}$, е получен с най-големите телескопи.

Параметър на плътността W . Съгласно уравнението на Фридман, свързващо плътността, геометрията и еволюцията на Вселената,

$$H^2 = 8\pi G\rho_m/3 - k/a^2 + \Lambda/3$$

се определят

$$\Omega_m = 8\pi G\rho_m/3H_0^2$$

параметър на плътността на материята,

$$\Omega_k = -k/a^2H_0^2$$

член на кривината и

$$\Omega_\Lambda = \Lambda/3H_0^2$$

плътност на енергията на вакуума.

Ако Вселената е плоска, имаме $\Omega_m + \Omega_\Lambda = 1$. [Параметрите Ω са нормиране към критичната плътност $\Omega_0 = 1$ за плоска Вселена. Ако $\Omega_0 > 1$, Вселената трябва да е отворена или хиперболична; при $\Omega_0 < 1$ тя е затворена, сферична].

Определянето на сегашната пълна плътност

$$\Omega_0 = \Omega_m + \Omega_k + \Omega_\Lambda$$

съвсем не е проста работа и като че ли съществуват непреодолими трудности. През 1933 г. Цвики⁸ за пръв път приложи вириалната теорема за най-близкия, почти симетричен, богат куп от галактики в съзвездията Косите на Вероника и установи, че този куп съдържа от 10 до 100 пъти по-голяма маса от тази, която се *вижда* като галактики.

Оттогава датира проблемът за скритата маса или както сега се нарича тъмната маса (dark matter). Този въпрос беше подценяван до около 1970 г., когато вече се натрупаха много наблюдения за всякакви структури – галактики, групи, купове. При това относителното съдържание на тъмната маса нараства с йерархията.

Мислимо обяснение преди двадесетина години бяха потоци от неутрина. Днес, обаче, има наблюдателни указания (свръхновата SN1987A, Супер-Камиоканде), че масата на неутриното не може да обясни проблема.

Кандидатите за обяснение се разделят на гореща (hot) и студена (cold) тъмна материя. Горещата включва релативистичните частици, а студената – нерелативистичните частици или обекти. Към студената се отнасят всякакви тела – планети, кафяви джуджета и др. От друга страна натрупани са много аргументи за съществуването на небарионна материя – това могат да бъдат *аксиони*, *неутралино*, *слабовзаимодействащи частици* (WIMP) или други екзотични частици, които са предлагани от специалистите по елементарни частици. Предложенията на астрономите са твърде тривиални – барионни тела, някои от които съществуват, а други следват от теорията за образуване и еволюция на звездите – те се наричат масивни астрофизични компактни обекти в халото (MACHO). От кривите на въртене на галактиките следва, че тъмната материя е разположена предимно в халото и Млечният път не представлява изключение.

Най-примамливи са кафявите джуджета с маса $< 0,08M_{\odot}$, защото, съгласно теорията, те са обекти, в които не са заработили термоядрените реакции. Те трябва да са многобройни. Досега не е наблюдаван нито един подобен обект.

Разработен е стандартен начин за търсене – с помощта на гравитационните микролеци. Наблюдават се много звезди от близка галактика – в съзвездието Андромеда, от Големия или Малкия Магеланови облаци, към централните части на Галактиката. Ако съществуват тъмни звездopodobни тела, то при относителното движение на телата и звездите ще има случки на видимо силно сближаване и тъмните тела ще действат като гравитационни лещи. Няма шанс да регистрираме отклонение на светлината (което е нищожно), но блясъкът на звездата ще се увеличи, ще достигне максимум и симетрично ще се намали.

Няколко екипа работят през последните години и са “прегледани” десетки милиони звезди, като са открити стотина подобни случки. Значи микролеци наистина съществуват, но оценките за техните маси са $(0,1 \div 0,5)M_{\odot}$. Тези обекти, които все още не са идентифицирани (могат да бъдат неизвестен тип население), не са достатъчни да ликвидират проблема.

Остават други кандидати – бели джуджета, неутронни звезди, черни дупки. Предполагаме, че могат да бъдат и масивни черни дупки, но днес те (с маси $> 10^4 M_{\odot}$) са изключени от кандидатите, тъй като никакви следи от динамическо въздействие върху близките галактики-джуджета не е наблюдавано.

И все пак каква би могла да бъде тъмната материя?

Още през 1983 г. Саймън Уайт, Карлос Франк и Марк Дейвис изследваха поведението на горещата тъмна материя. Те установиха, че в този случай структурите трябва да се образуват отгоре надолу по йерархия – най-напред свръхкуповите, после куповете и най-накрая – галактиките. Това е така защото релативистичните частици изравняват плътностите при по-дребни мащаби. Наблюденията определено сочат, че галактиките са се образували при $z = 2 - 6$, куповете $z = 0 - 1$, а свръхкуповете продължават да се образуват в съвременната епоха. Следователно във Вселената трябва да се съдържа студена тъмна материя. Наблюдателните оценки са приведени от споменатите по-горе автори през 1998 г., като се добавят Джоузеф Силк (1999 г.), Търнър (1994 г.), Адам Рийс и др. (1998 г.).

Най-напред $\Omega_m = 40 \% \pm 10 \%$, което е много голямо постижение. (През юни 1999 г. е получена малко по-различна оценка:

$\Omega_m =$ със симетрични грешки $\pm 0,05$. Във всеки случай кали Ω_m е 30, 40 или 50 % не е толкова съществено (поне засега)). За барионната плътност оценката е $\Omega_b = 5 \% \pm 0,5 \%$. Това просто означава, че 95 % от Вселената (по маса, или по енергия, $E = mc^2$ (!)) е съставена от друга материя, а не от която сме съставени ние.

Най-вероятните кандидати за преобладаващата екзотична материя е студената – аксиони и неутралино (и двете частици все още не са наблюдаеми).

Тъй като инфлацията изисква плоска Вселена, недостигащата част е около 60 %. Много прецизни (и хитри!) наблюдения показват, че тази част не се съдържа в куповете от галактики. Тя трябва да е разсеяна що-годе еднородно във Вселената.

Съгласно ОТО източник на гравитацията е плътността на енергията $+3p$, където p е налягането. Но ако налягането е съществено отрицателно, каквото и трябва да бъде, тъй като недостигащата част е равномерно разпределена в пространството – ефектът от гравитацията трябва да е не притегляне, а отблъскване!

Но от тук следва потресаващият факт, че въведеният от Сандейдж *параметър на забавянето* $q_0 = (\Omega_0/2)(1 + 3p/\rho)$ в действителност е параметър на ускорението и $q_0 < 0$ при $p < -\rho/3$.

Всичко това би било много хубаво, ако може да се провери чрез наблюдения. И ето идваме до 1998 г., когато то наистина е тествано от колективите на Перлмютър и на Брайън Шмет (Рийс и др., 1998 г.).

Разширението на Вселената е всъщност едно мащабиране на всички разстояния. Ако измерваме *сега* скоростта на галактиките, те строго трябва да следват закона на Хъбъл. Обаче, наблюдавайки далечните галактики, ние проникваме в пространството и назад във времето. Ако разширението се забавя, далечните галактики трябва да се движат по-бързо, отколкото предсказва законът на Хъбъл. Наблюденията и на двете групи определено показват, че далечните галактики се движат по-бавно. **Скоростта на разширението се увеличава!**

Така барионната материя във Вселената е 5 %, а 35 % са аксиони и неутрони (реликтови масивни частици) и енергията на вакуума е 60 %.

Възраст на Вселената T_0 . Най-новата оценка (юни 1999 г.) не се отличава от олучената през 1998 г.: $T_0 = 14,9^{+1,4}_{-1,1}$ млрд год и е за плоска Вселена и не се нуждае от корекция.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Така описаната оптимистична картина за миналото и сегашното състояние на Вселената се споделя от много астрономи, но не от всичките. Вярно е, че няма пълни песимисти. Но Пийблс и Фрийдман, които активно допринасят за изясняване на най-сложните въпроси от теоретично и наблюдателно естество, могат да се нарекат частични песимисти. Докато са съгласни с оценката $\Omega_m = 0,3 - 0,4$ и с $H_0 = 65 - 75$ km/(s.Mpc), според тях все още не е проведен достоверен тест за плоска Вселена.

Има и други несъгласни – относно природата на тъмната материя, възрастта на Вселената и др.

В заключение ще опишем някои важни задачи и проблеми на наблюдателната космология.

1. Картографиране на днешната Вселена.

Подготвя се огромен обзор за картографиране на Вселената – SDSS (Sloan Digital Sky Survey), в който ще се изучават положенията и светимостите на 100 милиона обекта, като ще се измерят техните червени отмествания и ще се провежда фотометрия на 10^6 галактики и 10^5 квазари. Правят са и други обзори, но с по-скромни обеми.

2. Картографиране на младата (на 150 000 год) Вселена.

Спътникът COBE картографира реликтовото радиоизлъчване с разделителна способност 10° . Новият спътник на НАСА MAP (Microwave Anisotropy Probe) ще бъде изстрелян през 2000 г., а спътникът на ESA (European Space Agency) – Planck Surveyor – ще бъде изстрелян през 2007 г. и ще те ще имат 100 пъти по-добра разделителна способност - $0^\circ,1$.

Създадените карти ще бъдат неоценим източник на информация за състоянието на Вселената преди образуването на първите звезди и галактики. Много проблеми на космологията ще бъдат решени.

Днешната парадигма за **Големия взрив + инфлация + студена тъмна материя** ще бъде проверена.

3. Проблемът за тъмната материя все още не е решен.

Необходими са изследвания във физиката на елементарните частици, експерименти (те вече са предвидени в Лабораторията Ферми и в CERN), както и нови наблюдения (особено при гравитационни лещи) за разпределението на тъмната материя.

4. Първичният нуклеосинтез при Големия взрив не е напълно разбран.

Предстоят още много изследвания.

5. Необходимо е уточняване на космологичните параметри, както и получаване на по-достоверни данни за възрастта на най-старите звезди.

6. Толкова време вече се говори и пише за гравитационните вълни и все още не са открити.

Тяхното детектиране може да се окаже твърде важно за космологията.

7. Много важен проблем, за пръв път изказан от Търнър, е следният:

Ако наистина Вселената ускорява разширяването си, то голяма част от критичната плътност ще съществува във формата на тъмна енергия. Тази енергия засяга най-вече фундаменталната физика, но ако тя съществува, това ще засегне предимно бъдещето на Вселената.

Успехите на космологията в навечерието на новото хилядолетие са такива, за каквито никой не е мечтал до преди две години.

В статията са използвани някои резултати, получени при изпълнението на договор Ф-721/1997 г., финансиран от НФ "НИ".

БЕЛЕЖКИ

¹ Астрономията в САЩ започва да се развива през втората половина на 19-ти век. Американските астрономи веднага осъзнават предимствата на големите телескопи. В началото на нашия век друг голям астроном – Джордж Елери Хейл проектира 2,5 m телескоп и убеждава финансиста Хукър да отпусне необходимата сума. (Този случай е пресъздаден от Теодор Драйзер във “Финансиста”). Големият телескоп в Маунт Уилсън е наречен Хукър. Пак Хейл е в основата на плановите за 5 m телескоп (Маунт Паломар), наречен Хейл.

Монополът на САЩ беше отнет от СССР за повече от две десетилетия със 6 m телескоп (Специална Астрофизическа Обсерватория, Кавказ). В първите години, когато САО имаха трудности с телескопа, съветските астрономи разказваха вица за оръдието “Цар Пушка”, което никога не е стреляло, за камбаната “Цар Калакол”, която никога не е звъняла и за “Цар Телескоп”, с който никога няма да се наблюдава.

През последните години в астрономическата оптика беше извършена революция – започнаха да се създават тънки огледала и съставни (многоогледални) телескопи. През последните две години на Хавайските острови (Мауна Кеа) са завършени близнаците телескопи Кек I и Кек II (по името на фондацията Кек), с диаметри 10 m. В Южно-европейската обсерватория (Паранал, Чили) почти е завършен първият от четирите 8 m телескопи, които ще могат да работят и като интерферометри.

Огромно постижение е и Космическият телескоп “Хъбъл”, а вече се подготвя и друг по-голям орбитален телескоп.

² Нютон е имал всички основания и възможности да създаде нерелативистична космология. Той сигурно е разсъждавал върху това, но нищо не е публикувал. Когато един млад духовник (Ричард Бентли) му изпраща ръкопис за мнение, Нютон отговаря с четири (знаменити) писма. В една безкрайна Вселена, според Нютон, не е възможно цялата материя да се събере в едно (да колапсира), а ще се образуват безкраен брой колапсирани обекти. Във второто издание на “Математически принципи на натуралната философия” Нютон вмъква текст, от който следва, че в големи мащаби Вселената е стабилна, но в малки области материята може да се кондензира и да се образуват звезди.

Следователно Нютон е бил на крачка от обяснението на произхода на звездите.

³ Червеното отместване е $z = (\lambda - \lambda_0)/\lambda$, където Доплеровото отместване е $\Delta \lambda = \lambda - \lambda_0$, λ е дължината на вълната от спектъра на обекта, λ_0 – стандартната, лабораторна, дължина на вълната. Тъй като $V = cz$ и по закона на Хъбъл $V = RH_0$, то $R = V/H_0$ е разстоянието до обекта (галактика, куп, квазар). *Константата на Хъбъл* H_0 [km/(s.Mpc)] определя пространствената и времева скала на Вселената. Индексът нула се отнася за космологичните “константи”, определяни за настоящата епоха. Всъщност H не е константа. Определянето на R [Mpc], като $1 \text{ pc} = 3,08 \cdot 10^{18} \text{ cm}$, диктува пространствената скала, а $T_0 = 1/H_0$ [s] определя времевата. Така T_0 се нарича *възраст на Вселената*.

Връзката $V = cz$ е приложима само за $z \ll 1$. При по-големи червени отмествания трябва да се работи с доплеровата формула от специалната теория на относителността:

$$V = \frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1} c$$

и тогава $V \rightarrow c$ при $z \rightarrow \infty$.

Само някои от най-близките галактики имат отрицателни скорости (отместването е “синьо”, те се приближават към нашата Галактика. Тези скорости са от порядъка на $(0 \div -400) \text{ km/s}$.

За всички скорости $V \geq 1000 \text{ km/s}$ е приложим законът на Хъбъл и от лъчевата скорост се определя разстоянието до обекта.

Но при големи z в космологията не се определят разстояния, а се работи само със z , тъй като разстоянията за различните космологични модели значително се различават.

За най-далечния оптически наблюдаван обект (квазар) $z \approx 6,68$. Докато лабораторната дължина на La е $\lambda_0 = 1215 \text{ \AA}$, отместената дължина е $\lambda = (z+1)\lambda_0 \approx 9300 \text{ \AA}$! Съответната скорост е $290\,000 \text{ km/s}$, а разстоянието – $4,5 \text{ Gpc}$ (за $H_0 = 65 \text{ km/(s.Mpc)}$).

⁴ В класическата астрономия (до началото на 20-ти век) Вселената можеше да се разглежда като нееволюционна. С изключение на някои явления (нови звезди, собствени движения на звездите) нямаше никакви указания за еволюция. От 1910 – 1920 гг. идеите за еволюция навлязоха в астрофизиката – най-напред се започна със

звездите, после – около 1960 г. – с групи и купове от звезди и от 1965 – 1970 гг. фактически еволюцията навлезе навсякъде.

Въвеждането на съвършения космологичен принцип изглежда чиста глупост, тъй като отхвърля всякаква еволюция. Вярно е, че авторите на теорията за стационарната Вселена в по-късни работи предложиха идеята и за развитие на отделните обекти, но като цяло Вселената не би могла да еволюира. Съвсем накратко – според тази теория, за да се поддържа например постоянна средна плътност на материята, щом Вселената се разширява, трябва да има компенсация. Въвежда се *C* поле, което сътворява материя.

Теорията на стационарната Вселена е напълно отхвърлена с откриването на микровълновото фоново лъчение.

⁵ Терминът Голям взрив не е предложен от доброжелател. За пръв път е употребен от Фред Хойл в лекции по BBC (издадени през 1950 г. в книгата “Природата на Вселената”). Според Хойл самата идея за Големия взрив е неудовлетворителна и не си струва да се разработва, тъй като се сблъсква със сериозни трудности – например в нашата Галактика няма и най-малката следа, че подобен взрив се е случил.

Още Льомер е имал някакво прозрение за Големия взрив – във всеки случай бил сигурен, че Вселената води началото си от някакво свръхплътно състояние. Той го е нарекъл **Първичния атом** (това е и названието на неговата книга).

Гамов е предложил **Голямото свиване** а по-късно *илем* или *айлем* (*ylem*) – първоначалната субстанция на елементите.

Терминът **Голям взрив** не е най-удачният, защото нито е имало взрив, нито пък е бил голям, но вече е добил право на гражданство.

⁶ Законът на Хъбъл е имал и научни, и ненаучни, както и идейни противници.

Мнозина недоумяват как така Вселената (цялата?) се разширява. Други смятат, че **всичко** се разширява. Спомням си преди четиридесетина години как един чуждестранен учен (а не беше ли академик?) ни учеше в БАН, че и Земята се разширява и всички тектонични процеси се обяснявали със закона на Хъбъл ... Някои хора не могат да проумеят, че всички гравитационно свързани системи – галактики, купове от галактики, да не говорим за звезди и планети – не участват в разширението.

Много хипотези са предлагани за обясняване на червеното отместване – най-популярна беше т.нар. *изморяване* (аз бих го нарекъл измаряне) *на светлината*. Пътувайки милиони и милиарди години фотоните се изморяват, губят енергия и “почервяват”.

Други направо отричат разширението. До преди тридесетина години на всички семинари, доклади и сборки у нас, на които само се зачекваше червеното отместване, ставаха физици (измежду известните), твърдейки, че Вселената не може да се разширява (защото не може!).

А споровете във философските среди, също у нас, продължиха и още по-късно. Само един философ (но с физическо образование) – Азаря Поликаров – знаеше истината и я отстояваше. Веднъж една моя лекция във Философския институт бе прекратена, а друг път едва не се стигна до физическа разправа ... Но такива бяха времената – генетика, кибернетика, космология. (Не сте ли се замисляли защо чак след като в “белите” страни терминът *кибернетика* отшумя, той започна да се употребява в страните от социално лагера?) От друга страна съветските и българските философи бяха “факири” в разкриване на философските “тайни” на квантовата механика. Що остана от тези изследвания – само пожълтялата хартия (но тя не бива да се изхвърля). Нека ни напомня за миналото. Докато съм жив ще си съхранявам една книга - “зелената опасност”, в която черно на жълто е написано, че Айнщайн е мракобесник.

Откритието на Хъбъл е изисквало голяма интелектуална смелост. В съвременните диаграми на Хъбъл този участък ($V < 1000$ km/s) въобще не се запълва, тъй като трудно се проследява линейната връзка $V - R$ или $m - V$, (по-точно $\lg V$ или $\lg z$, тъй като звездната величина m всъщност е логаритъм от блясъка или яркостта).

От друга страна, и преди и сега, авторството на Хъбъл се оспорва. Първият, който започва систематично измерване на лъчевите скорости на галактиките, е Весто Слайфър. Тогава тези измервания съвсем не са били лесни – необходими са били десетки часове експонация за регистриране на един спектър на галактика. През 1923 г. Слайфър е разполагал със скоростите на 41 галактики, от които 36 са имали положителна скорост. Синьо отместване е било регистрирано само при 5 близки галактики. При далечните галактики има само червено отместване.

Сигурно е, че Едингтън е имал необикновена интуиция, тъй като в книгата си “Математическа теория на относителността” (1922 г.) той привежда в таблица всички известни лъчеви скорости на

галактиките – без да обяснява защо. (Тази книга още тогава е преведена на руски и беше основното помагало за ОТО на старото поколение български физици.)

По същото време Карл Виртц предлага съотношение между скоростите и видимите диаметри на галактиките (по-далечните имат по-малки диаметри). През 1928 г. Хауард Робъртсън използва скоростите на Слайфър и разстоянията на Хъбъл и наемка, че има връзка между разстояния и скорости. Но това е публикувано във *Philosophical magazine* и не развълнува никой астроном. Следващата година Хъбъл използва своите разстояния и обявява в *Съобщения на Националната академия на науките* това, което ние сега наричаме **закон на Хъбъл**. Неговото авторство е безспорно.

⁷ Първоначалната оценка на Хъбъл е била $H_0 = 500 \text{ km/(s.Mpc)}$, което веднага води до възраст на Вселената $T_0 = 2 \cdot 10^9$ год. Това е напълно неприемливо, тъй като Вселената би трябвало да е по-млада от Слънцето, дори от Земята. Тогава се пороци колизията между “кратката” и “дългата” скала.

През 1952 г. Бааде откри слабо място в обработката на наблюденията от Хъбъл (при т.нар. нулпункт) и увеличи двукратно разстоянията във Вселената. Първият каталог на червените отмествания (Милтън Хюмасън, Николас Мейол и Сандейдж, 1956 г.) доведе до 180 km/(s.Mpc) . От тогава до днес H_0 все намалява. Още през 1970 г. д-р Вокулъор публикува диаграма – по абсцисата нанася годините след около 1600 г., когато епископ Ъшър “оцени” датата на сътворението на света, а по ординатата – възрастта на Вселената. Връзката е линейна – възрастта на Вселената се увеличава с хода на годините ...

Сега като че ли няма сблъсък между “кратката” и “дългата” скала. Най-старите звезди (Брайън Чабойър и др., 1998 г.) имат възраст $12 \cdot 10^9$ год и всичко си пасва. (Но това е само за фаворизирания днес космологичен модел, в който забавянето на разширяването не е съществено. Друг е въпросът, че ако забавянето има съществено влияние, $T_0 = 2H_0/3$ и няма съгласие между двете възрасти.)

⁸ Фриц Цвики (1898 – 1974) е роден във Варна в семейството на швейцарски дипломат. Той беше професор в Калифорнийския технологичен институт и започна кариерата си като физик-теоретик. Автор е на редици открития (в най-широк диапазон – балистика, ракети, статистическа физика, нови обекти – неутронни звезди,

компактни галактики и много други). В областта на извънгалактичната астрономия само Хъбъл може да му съперничи. Автор е на най-големия каталог на галактики и купове от галактики, на стотици статии и няколко книги. Той е и един от създателите на UNICEF.

Преди няколко години американски астрономи предприеха шеговите изследване (но без резултат) – кой е вторият астроном по оригиналност, тъй като първото място, изглежда завинаги, безспорно принадлежи на Цвики. Той не признаваше разширението на Вселената – лъчевите скорости на галактиките той наричаше *индикативни*, имаше разправии с редакции на големи астрономически списания, които му изпращаха отрицателни рецензии, подиграваше се с известни астрономи, осмели се да публикува недомислени статии (и всичко това е описано от него с необикновено цветист език). В огромното мнозинство от случаите Цвики се оказваше прав.

Цвики и Ейбъл (автор на най-представителния каталог на купове от галактики) водеха непрекъснато спорове на всички специализирани конгреси и симпозиуми. Ейбъл търсеше доказателства за съществуването на свръхкупове от галактики, а Цвики винаги го оборваше.

Аз имах честта да познавам и двамата. Ейбъл беше изключително коректен човек с голяма обща култура. Малко астрономи си губят времето за оборване на астрологията, парапсихологията и други лъжеучения, а Ейбъл пишеше статии и книги, изнасяше лекции, даваше интервюта.

Цвики беше пряк човек. Достатъчно беше някой да го запита: Откъде следва еди-кое си уравнение във вашата “Морфологична астрономия”? – за да отвърне хапливо: Защо се занимавате с астрономия, ако не можете да разберете това?

През 1967 г. докладвах в Прага на Международния астрономически конгрес работа по търсене на свръхкупове с корелационни функции. Бяха ми зададени въпроси, изпълнени с недоверие. Двама души ме защитиха – Цвики и Амбарцумян. Прави им чест, че въпреки моите езикови трудности те разбраха за какво става дума.

