

ТЪМНАТА МАТЕРИЯ В ГАЛАКТИКИТЕ

Георги Петров, Момчил Дечев

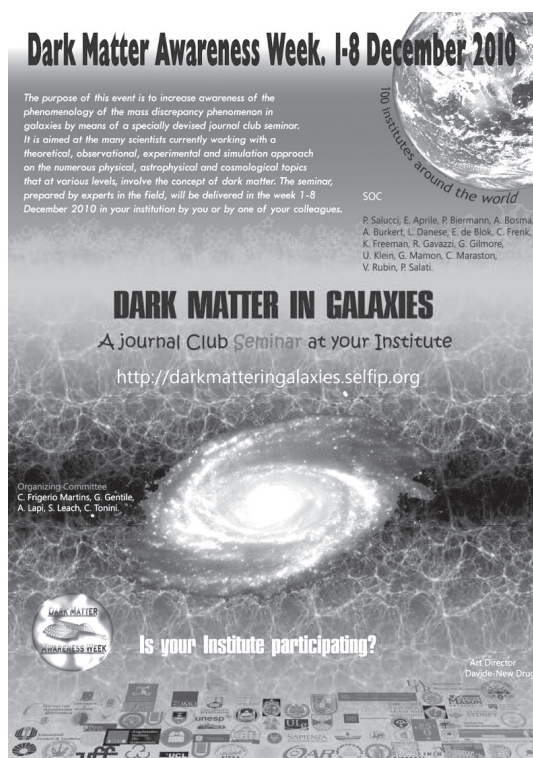
Седмицата на тъмната материя (DMAW 2010) е международна инициатива на група учени за запознаване и разпространение на специфична информация за един от най-загадъчните проблеми на астрофизиката, физиката на високите енергии, космологията и теорията на относителността. Седмицата се проведе в началото на декември 2010 г., като международната инициатива включва изнасянето на доклада „Тъмна материя в галактиките“ в 138 физически и астрономически институти по света.

Основната цел на тази проява е да повиши информираността на учените в различни области относно несъответствието на масите на галактиките от теоретичен аспект и наблюдателните данни, за да се запознаят с теорията за тъмната материя и други алтернативни теории.

Разпределението на масата в галактиките от различни типове по наблюдателни данни играе важна роля в космологията, извънгалактичната астрономия, физиката на високите енергии, звездообразуването и Общата

теория на относителността. Независимо от общия успех на Lambda_CDM (Cold Dark Matter) сценария за разбиране на структурата и развитието на Вселената, налице е нарастващо убеждение, че тъмната материя е ключова за процеса на формиране на галактиките.

Инициативата „Седмица на тъмната материя“ има за цел да обедини усилията и достиженията на учени, работещи в областта на структурата на галактиките с тези, занимаващи се с проблема за тъмната материя в астрофизиката и космологията и да предостави на учени, работещи в различни области, свързани с по различен начин с тъмната материя, по-добро познаване на феноменологията на разпространението и в галактиките.



Фиг. 1. Официалния плакат на инициативата.

Тъмна материя — какво знаем за нея?

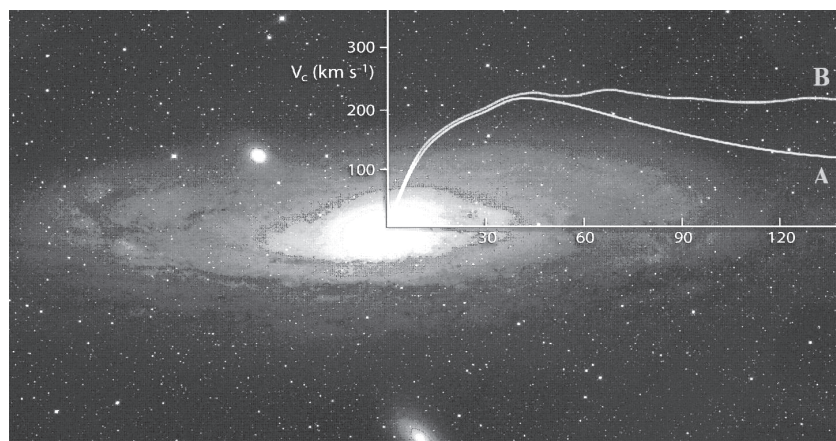
Тъмна материя (скрита маса) в космологията и астрофизиката е обобщаващо название на съвкупността астрономически обекти, които са недостъпни за преки наблюдения със съвременни астрономични средства (т.е. не се отделят или не се поглъщат електромагнитно лъчение или неутрино с достатъчна интензивност, за да могат да бъдат наблюдавани), но се откриват косвено от гравитационното влияние (напр. *гравитационна леща*), върху видими обекти. Учените смятат, че количеството на тъмната материя е най-малко 5 пъти по-голямо от това на видимата. Основният проблем при тъмната материя може да бъде разгледан в две направления:

— астрофизично — несъгласуваност между количеството наблюдава маса на гравитационно свързани обекти и техните системи (галактики, купове от галактики) и наблюдаваните параметри, определени по гравитационните ефекти;

— космологично — противоречията на наблюдаваните космологични параметри и данните за средната плътност във Вселената, получени от астрофизиците

Наблюдателни данни на гравитационното въздействие на тъмната материя.

Въртене на галактиките и тъмна материя. Основополагащи са дългогодишните трудове на В. Рубин и К. Форд, обобщени през 1975 г. На Фиг. 2 е показана диаграма „скорост на въртене – разстояние от центъра на галактиката“ за спирални галактики (*ротационните криви на галактиките*). Изненадващото е, че повечето звезди в спиралните галактики обикалят около центъра с почти еднакви скорости, което подсказва за тяхното равномерно разпределение дори далеч от центъра, където основно е съсредоточена масата на галактиката — т.с. или законът на Нютон за гравитацията не е универсален или че повече от 50% от масата на галактиката се съдържа в относително по-тъмното галактическо хало.

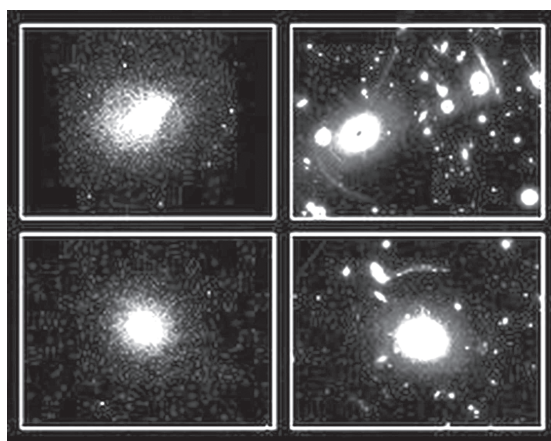


Фиг. 2. Ротационна крива на типична спирална галактика: теоретично предсказана от законите на Кеплер (А) и реално наблюдавана (В)

За да се обяснят наблюдаваните отклонения в кривите на диференциално въртене на галактиките от *кеплеровото въртене*, трябва да се приеме съществуването на ненаблюдаема (несветеща) материя, простираща се на разстояния, надвишаващи десетки пъти видимите граници на галактиките и с маса на порядък по-голяма от съвкупната маса на наблюдаваната светеща материя — галактиката и нейното хало. Последните изследвания сочат, че масата на тъмната материя вероятно е 95%!

Проблем на Цвики — маса на куповете от галактики. Първият учен — астроном, привел доказателства за съществуването на тъмна материя, е Фриц Цвики (Цвики е роден в България и първите години от детството си е прекарал в гр. Варна). През 1937 г. Цвики публикува своя труд „*За масата на мъглявините и на куповете от мъглявини*“, основаван на наблюдения на относителните скорости на галактиките в купа Кома. Сравнявайки оценката на масата на купа по теоремата за вириала и наблюдаваната маса, получена по общия брой галактиките и светимостта на купа, Цвики установява, че в купа наблюдаваната маса е 400-500 пъти по-малка от очакваното — т.е. гравитацията на видимите галактики от купа би била твърде малка за да ги удържи заедно. Така се появил т.нар. *проблем за липсващата маса*. Единственото решение било да се предположи, че има *невидима форма на материята*, която с гравитацията си удържа галактиките от купа.

Маса на куповете от галактики — горещ междугалактически газ. С развитието на рентгеновата астрономия в купове от галактики беше открито рентгеново излъчване на горещ (загрят до температура от 10^6 К) газ, който изпълва междугалактическата среда — т.е. беше намерена част от скрита маса на тези купове. Въпреки това, сумарната маса на този горещ газ и на наблюдаваната маса на галактиките от куповете не дава масата, достатъчна да задържи нито галактики, нито горещия газ в куповете (Фиг.3.).



Фиг. 3. Рентгенови изображения на куповете от галактики Abell 2390 (горе) и MS2137.3-2353 (долу). Рентгенови лъчи (дясно) излъчват предимно горещите газове. Вдясно са същите обекти във видимата област — дъгите са доказателство за гравитационни леци. Общата наблюдаема маса е едва 13% от изчислената.

Маса на куповете от галактики – гравитационни лещи. Друг важен инструмент и за бъдещи изследвания на тъмната материя са гравитационните лещи. Те са предсказани от Общата теория на относителността и дават нов напълно независим метод за определяне масите на обектите, в т.ч. и на тъмната материя. Решаването на обратната задача, т.е. пресмятането на гравитационното поле, което би предизвикало такъв ефект, като на Фиг. 3, позволява да се изчисли масата на гравитационната леща — групи от галактики. Източник <http://chandra.harvard.edu> (http://chandra.harvard.edu/press/01_releasespress_090501clusters.html)

Силните гравитационни лещи, проявяващи се в изкривяването на образите на разположените зад лещата галактики в дъги, са наблюдавани около няколко галактически купа, включително Abell 1689 (Фиг.4.). Чрез измерване на степента на изкривяването може да се оцени масата на обекта (купа от галактики), причиняващ ефекта на лещата. В повечето случаи, в които това е правено, данните за отношенията маса-светимост се съгласуват добре с другите по-стари методи. Може би по-убедителна техника на наблюдение ще се появи в близките 10 години — т.нар. метод на слабите гравитационни лещи. При него се следи за слаби микро-изменения и се прилагат статистически методи върху голям брой галактики и купове от галактики.



Фиг. 4. Силни гравитационни лещи в Abell 1689 наблюдавани от Космическият Телескоп Хъбъл. Те са знак за тъмна материя - увеличете картинката за да видите дъгите образувани от лещите. Източник NASA/ESA.

Получените резултати за разпределението на тъмната материя в пространството и за отношенията маса — светимост, отново се съгласуват с другите методи. Именно съгласуваността на резултатите от наблюденията на силни, слаби гравитационни лещи и всички останали методи успява да убеди почти всички астрофизици, че **тъмна материя наистина има.**

Характер и състав на тъмната материя. Данни от различни източници, изброени по-горе, комбинирани с независими данни за барионната плътност показват, че 85%-90% от масата на Вселената не си взаимодейства с електромагнитни сили.

Освен преките наблюдения на гравитационното въздействие на тъмната материя има редица обекти, прякото наблюдение на които е трудно, но които могат да допринесат за изясняване на състава на тъмната материя. Можем да разделим тези обекти по тяхната природа на две групи — *барионна* и *не-барионна*. Към първата група се отнасят добре познатите ни астрономически обекти – вариантите за обикновена барионна материя включват кафявите джуджета или малки, плътни парчета съставени от тежки елементи. Такива обекти се наричат *massive compact halo objects* (масивни компактни хало-обекти) или МАСНО. Барионната материя като напр. МАСНО-тата е само малка част от цялата тъмна материя. Според съвременните концепции, само около 4,4% от масата на Вселената е обикновена барионна материя.

Кандидатите за втората група са неутриното и някои хипотетични елементарни частици. Приблизително 23% от небарионната тъмна материя не участва в силни и електромагнитни взаимодействия. Тя се наблюдава само чрез гравитационното въздействие. В зависимост от скоростта на частиците, *не-барионната тъмна материя* се разделя на три вида (по долу c е скоростта на светлината):

- гореща — ултрарелативистки скорости по-високи от $0,95c$.
- топла — релативистки скорости по-високи от $0,1c$ и по-ниски от $0,95c$.
- студена — не-релативистки скорости по-ниски от $0,1c$.

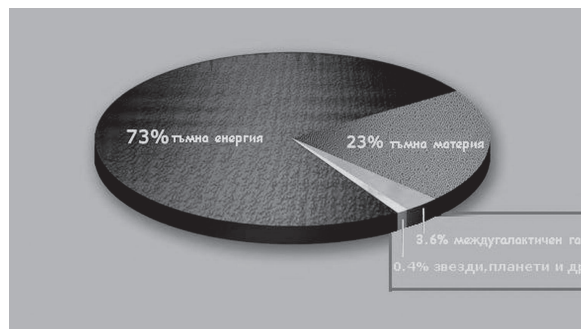
Горещата тъмна материя се състои от частици със скорости близки до светлинната (ултрарелативистки частици). Знае се за един представител на този клас — неутриното. То има много малка маса, не взаимодейства нито електромагнитно, нито силно и затова е много трудно за засичане. То е идеален кандидат за тъмна материя, но експериментите показват, че обикновеното неутрино е само малка част от състава на горещата небарионна тъмна материя. Горещата тъмна материя не може да обясни как са се образували отделните галактики след Големия взрив.

Топлата тъмна материя се състои от частици, движещи се със скорости по-ниски от тези, с които се движат частиците на горещата тъмна енергия. Към днешна дата не са открити частици, които биха могли да бъдат отнесени към категорията на топлата тъмна материя. Предполагам кандидат е т.нар. *стерилно неутрино* — по-тежка и по-бавна форма на неутриното, което не взаимодейства с веществото дори и чрез т.нар. слабо взаимодействие, за разлика от “нормалното” неутрино.

Топлата, също както и горещата тъмна материя не може да обясни как са се образували отделните галактики след Големия взрив. Горещата и топлата тъмна материя се движат твърде бързо, за да могат да се свържат например в галактики или да останат заедо и да образуват купове от галактики.

За да се обясни сегашната структура на Вселената е необходимо да се въведе и *студена (нерелативистична) тъмна материя*. Наблюденията на гравитационни лещи засега изключват вероятността към този клас тъмна материя да се числят обекти с голяма маса като например черни дупки с размери на галактика. Студената тъмна материя трябва да се състои от масивни бавно движещи се (и в този смисъл, “студени”) частици или сгъпвания на материя. Кандидати за студена тъмна материя са слабо взаимодействащи масивни частици (*Weak Interactive Massive Particles – WIMPs*). Експериментално тези частици не са открити.

Днес, най-разпространено е схващането, че *тъмната материя е предимно не-барионна*, изградена е от един или няколко вида елементарни частици различни от познатите ни електрони, протони, неутрони и видовете известни нам неутрино. Най-често предлагани кандидати са аксиони, стерилни неутрино и слабо взаимодействащи масивни частици, в тях се включват и т.н. неутрино. Някоя от тези частици не е част от стандартния модел на квантовата физика.



Фигура 5. Съотношение на тъмната материя, тъмната енергия и обикновената материя в познатата ни Вселена

Да сумираме нашите познания за галактиките в светлината на тъмната материя:

Сфероидални галактики-джуджета — напр. спътниците на нашата Галактика и галактиката Андромеда (M31) с ниска светимост, практически лишени от газ. Какво знаем за тях:

- наличие на хало от тъмна материя с маса 10^{10} слънчеви маси и плътност;
- $\rho_0 = 10^{-21} \text{ g/cm}^3$;
- тъмната материя доминира за всяка точка по радиуса на галактиката;
- разпределението на масата се съгласува с това, описвано от универсална ротационна крива;
- има слаби доказателства за наличие на плътно ядро;
- високо отношение маса/светимост (от 10 до 100);
- най-малките системи, съдържащи тъмна материя.

Галактики с ниска повърхностна яркост. Вероятно това са обектите, изцяло доминирани от тъмната материя. Наблюдаваното звездно население обяснява само малка част от наблюдаваните ротационни криви.

Спирални галактики. Ротационните криви на спиралните галактики с ниска или висока повърхностна яркост се подчиняват на един и същи универсален закон, които може да се представи като сума от тънък експоненциален звезден диск и сферично хало от тъмна материя с плоска ядрена част (*flat core*). На разстояние r_0 плътността

$$\tilde{\rho}_0 = 4,5 \cdot 10^{-2} (r_0 / \text{kpc})^{-2/3} M_\odot \text{pc}^{-3} \quad (M_\odot \text{ е масата на Слънцето — } 2.10^{30} \text{ kg}).$$

Какво знаем за тях:

— всички ротационни криви могат да бъдат описани с една универсална такава;

— по-малките системи съдържат повече тъмна материя;

— Radius in which the dm sets in function of luminosity;

— разпределението на масата на големи радиуси е съвместимо с *NFW*;

— плътността на тъмната материя в халото показва наличие на ядро (*core*) с размер $2 R_d$.

Navarro–Frenk–White profile или *NFW-profile* е пространствено разпределение на тъмната материя, предсказано от N-body симулации — автори Julio Navarro, Carlos Frenk и Simon White. *NFW*-профилите са най-често използваните профили на разпределението на тъмната маса в халото. R_d е параметър — големина на диска, дефиниран от Freeman'70 при описване на разпределението на звездите в тънък диск.

Елиптичните галактики показват наличие на тъмна материя чрез ефекта на силна гравитационна леща. Ренгеновите наблюдения показват наличие на обширна атмосфера от горещ газ, запълваща тъмно хало.

Какво знаем за тях:

— елиптичните галактики са връзката между различните структури на звездни сфероиди;

— наличие на малко тъмна материя в ефективен радиус R_e ;

— разпределението на масата на големи радиуси е съвместимо с *NFW* и Burkert'95 профил (модел на разпределение на тъмната материя с ядрена област);

— тъмната материя описва разпределението на масите в R_{vir} ;

Интересуващите се читатели могат да намерят много подробности в Интернет и в свободната енциклопедия УИКИПЕДИЯ, от където са и повечето от илюстрациите в тази статия.