

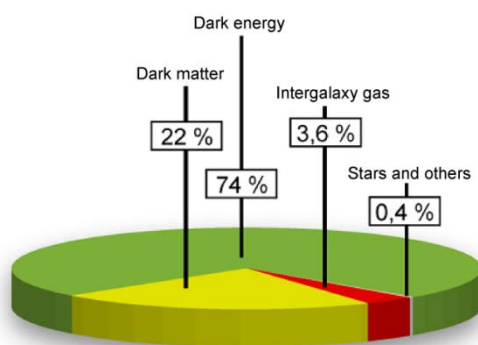
ТЕМНА ЕНЕРГИЈА

Наце Стојанов

nacestoj@yahoo.com

ВОВЕД

Распределбата на материјата во вселената се смета дека е добро позната и е прикажана на слика 1.



Сл. 1. Шематски приказ на распределбата на материјата во вселената.

Лесно се забележува дека околу 4% од материјата во вселената е „обична“ или за нас видлива и директно мерлива, додека за останатите 96% сè уште малку се знае. Поточно, 22% од материјата припаѓа на темната материја за која има добро развиени теориски модели како што е оној за суперсиметрични честиици и за нивна детекција веќе се подготвуваат првите експерименти, додека за најголемиот дел од 74%, што се познати како темна енергија, нема ниту теориски модел и затоа сме далеку од било каков експеримент. Во овој текст ќе се задржиме токму на најмистериозната темна енергија и нејзиното влијание врз еволуцијата на вселената.

Како што рековме, за темната енергија нема теориски модел, но сепак со сигурност знаеме дека таа постои. Од каде произлегува ова? Во прашање е забрзаното ширење на вселената што експериментално е утврдено и директно се поврзува со енергијата на вакуумот. А што е енергија на вакуумот? Тоа е всушност енергијата на просторот која не можиме да ја „извадиме“ или „оттргнеме“ туку е вградено својство на просторот или поточно простор-временскиот континуум (ПВК).

Значи, забрзаното ширење на вселената е предизвикано од енергијата на ПВК или вакуумската енергија. Станува збор за еден вид на „затворен круг“ во кој се наоѓаат вакуумската енергија и големината на вселената. Вакуумската енергија доведува до ширење на вселената, а тоа како повратен ефект доведува до зголемување на вакуумската енергија итн. Забележуваме дека енергијата на вакуумот има акумулациско дејство затоа што со ширење на вселената таа се зголемува.

Овој заклучок директно ни кажува дека вселената е динамички систем а не статички. Всушност, повеќе вековното тврдење за статичка вселена за првпат е побиеено со Ајнштајновата општа теорија на релативност (ОТР) или теоријата за општа гравитација. Експерименталниот доказ за точноста на ОТР прв го направил Едингтон кој со своите астрономски набљудувања ја потврдил ротацијата на перихелот на Меркур токму како што предвидува ОTR.

ШТО Е ЕНЕРГИЈА НА ВАКУМОТ?

Поттикнат од резултатите на астрономските набљудувања, во 1917 година Ајнштајн направил „мала“ корекција на основните равенки на ОТР воведујаќи ја космолошката константа Λ , на начин што е прикажан со следнава равенка

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + g_{\mu\nu} \Lambda = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}, \quad (1)$$

каде што $R_{\mu\nu}$ е тензор на закривеност на ПВК, R е скалар на закривување, $g_{\mu\nu}$ е метрички тензор, G е Њутнова гравитациона константа, c е брзина на светлината, $T_{\mu\nu}$ е тензор на импулсот и енергијата, а Λ е космолошката константа. Левата страна на равенката ни го дава закривувањето на ПВК а десната е енергијата на ПВК. Целта на оваа корекција, според кажувањата на Ајнштајн, била можното решение за еволуцијата на вселената да биде „статично“ што било во согласност со неговите филозовски сфаќања и убедувања. Имено тој член ја „израмнувал“ закривеноста на ПВК на левата страна на равенката со што се овозможувало распределбата на материјата во вселената да биде рамномерна, а со тоа вкупната гравитациска сила на секој објект била еднаква на нула. Ова значело дека вселената е статична.

Но, ако константата се префрли на десната страна на равенката, таа веќе ја немала корективната вредност што ја замислил Ајнштајн, туку имала улога на енергија на вакуумот што некогаш се нарекувал етер а денес е позната како „темна енергија“.

Во 1929 година, Едвин Хабл со астрономски набљудувања покажал дека вселената не е статична туку е динамична и се шири со брзина што е пропорционална со растојанието на даден објект од нас или

$$v = H R, \quad (2)$$

каде што v е брзина, R е растојание а H е Хаблова константа. Со ова било покажано дека местото на космолошката константа е на десната страна и ни ја презентира енергијата на вакуумот.

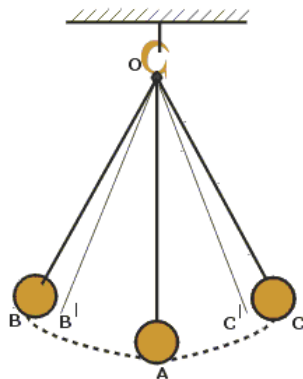
За „малку поточно“ разбирање на поимот енергија на вакуумот неопходно е да се примени квантната механика на поимите физичко поле и осцилатор (или нишало) кое на сликата 2 е прикажано во класична смисла, додека квантномеханичката слика е невозможно да се прикаже затоа што не постои.

Гледано класично, енергијата на осцилаторот прикажан на слика 2 е континуирана величина, а позицијата и брзината се познати во секој момент на време. Со други зборови системот е целосно или 100% предвидлив.

Од друга страна, ако истиот систем го разгледуваме како квантномеханички осцилатор, тогаш местоположбата и брзината се определени со некоја веројатност во согласност со Хајзенберговиот принцип на неопределеност

$$\Delta x \Delta v \geq \hbar. \quad (3)$$

Ова значи дека, никогаш во даден момент не можиме да бидеме 100% сигурни за позицијата $\Delta x = 0$ и брзината на нишалото $\Delta v = 0$, односно ако поточно ја определеме позицијата тогаш со помала точност ја знеме неговата брзина, и обратно. Причина за ова секако дека е дуалистичката природа на микросветот.



Сл. 2. Шематски приказ на класичен осцилатор (нишало).

До сличен заклучок може да дојдиме и за неопределеноста на енергијата на квантномеханичкиот осцилатор што произлегува од една друга релација на Хајзенберг која гласи

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar. \quad (4)$$

Оваа релација ни кажува дека не може да постои состојба за која $\Delta E = 0$, што значи дека квантомеханичките системи секогаш имаат некоја „вградена“ или „нулта енергија“ E_0 . Кон овој заклучок треба да се додади и дека енергијата на квантниот осцилатор има само дискретни (избрани) вредности кои се определуваат со формулата

$$E = \left(n + \frac{1}{2} \right) \hbar \omega, \quad (5)$$

каде што ω е фреквенцијата, \hbar е константа на Планк поделена со 2π , а n е главен квантен број за кој важи $n \in (0, 1, 2, \dots)$. Ова значи дека осцилаторот може да се најди само во некои позиции во интервалот $x \in \overline{ABC}$, на пример во B' и C' но не и во позиција A што значи дека во квантната механика за физичките величини постојат дозволени но и забранети вредности. Од формулата (5) за енергијата на квантниот осцилатор произлегува дека при $n = 0$ ја добиваме неговата нулта енергија $E_0 = \hbar \omega / 2$, која што директно се поврзува со енергијата на вакуумот.

Познато е дека ПВК не е празен простор туку е исполнет со физички полиња, како на пример, гравитационото поле, електромагнетното поле итн., а секое поле е причина за постоење на некоја фундаментална сила односно заемодејство. Носителите на заемодејствата или силите се бозони, посебен вид на виртуелни честичици, кои што може да се опишат како квантни осцилатори. Некои нивни карактеристики се дадени во табелата 1.

Штом дојдовме до заклучокот дека виртуелните бозони се квантни осцилатори, тогаш може да кажиме дека нивната енергија има дискретни вредности што се опишуваат со формулата (5), а нивната најмала можна енергија е нултата или E_0 . Секоја

сила или поле се опишува со посебен квантен осцилатор што значи дека нултата енергија E_{0i} им е различна, слика 3. Причина за тоа се различните вредности на величината ω_i со која се опишуваат осцилаторните карактеристики на бозоните како квантни осцилатори.

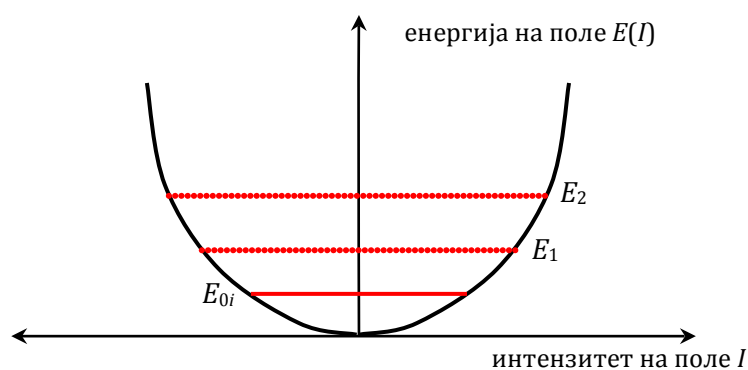
Табела 1.

Сила	Теориски модел	Преносител (бозон)	Релативна јачина	Домент на дејство (m)
Јака	Квантна хромодинамика	Глуони	10^{38}	10^{-15}
Електро-магнетна	Квантна електродинамика	Фотони	10^{36}	\square
Слаба	Електрослаба теорија	W и Z бозони	10^{25}	10^{-18}
Гравитациона	Општа релативност	гравитони	1	\square

Бидејќи E_{0i} има различна вредност за секое поле, тогаш и нивната вакуумска енергија ќе биде различна. Но, имајќи предвид дека ПВК е исполнет со различни полиња, неговата вкупна вакуумска енергија е збир од нултите енергии на посебните полиња, што може да се опише со формулата

$$E_0 = \sum_{i=1}^n E_{0i}, \quad (6)$$

каде вредностите на $i = 1, 2, \dots$ се однесува на секое физичко поле посебно. Имајќи го предвид ова, според теориските предвидувања вакуумската енергија на ПВК се проценува на $E_0 \square 10^{105} \text{ J/cm}^3$, што е фантастично голема бројка! Како и да е, денес сме многу далеку од било какво експериментално потврдување на оваа вредност затоа што сè уште се во развој теориските модели.



Сл. 3. Шематски приказ на енергетските нивои на квантен осцилатор.

Претходно спомнавме дека носителите на физичките полиња се виртуелни бозони. Накратко ќе спомниме дека виртуелните честици всушност се еден вид на флукуации на полињата што постојат определено време па затоа за нив не важат Хајзенберговите релации на неопределеност (3 и 4). Сепак, тие заемодејствуваат со обичната материја, но ова заемодејство се релевантно само во микросветот или поточно на атомарно ниво како заемодејство на електроните со вакуумот. Станува збор за

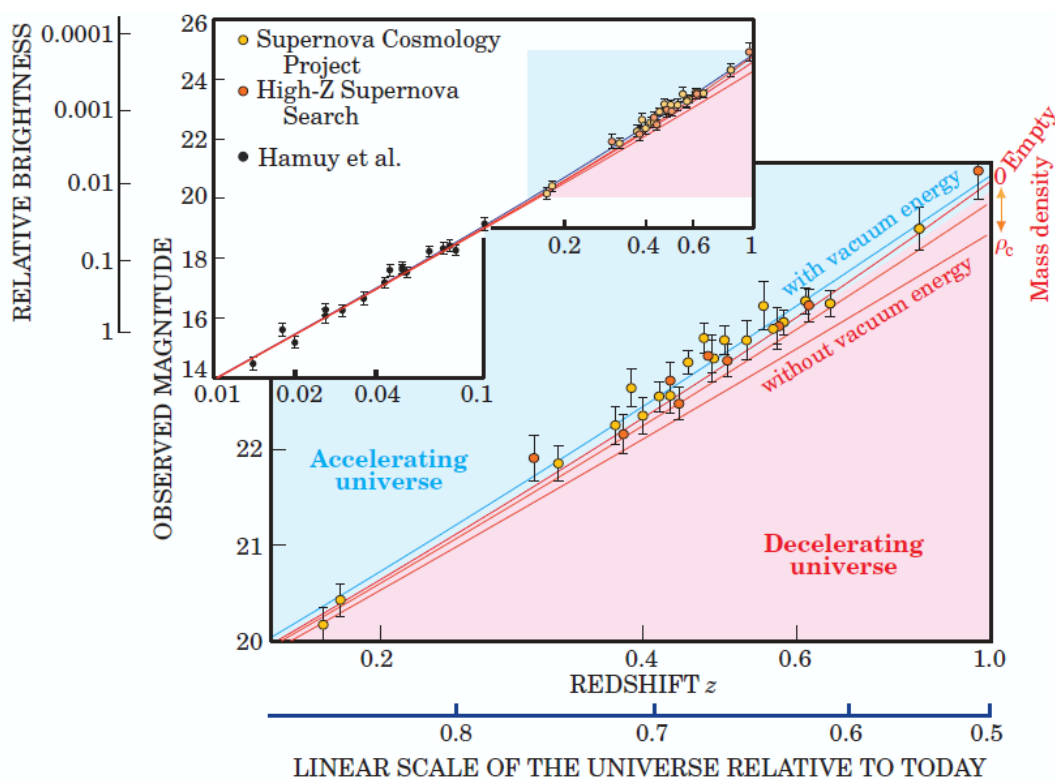
заемодејство со извонредно мал интензитет, но сепак предизвикува поместување во некои спектрални линии кај атомите.

Значи, не двосмислено може да заклучиме дека во нашата вселена не постои празен простор, затоа што ПВК е исполнет со различни физички полиња а нивните носители како виртуелни бозони заемодејствуваат со обичната материја насекаде низ вселената. Имајќи предвид дека носителите на физичките полиња може да се апроксимират со квантни осцилатори, тогаш тие поседуваат дискретен енергетски спектар кој задолжително има основна или нулта енергија E_{0i} и останати возбудени енергетски нивои. Кога е во прашање вакуумската енергија, од интерес е само нултата енергија зато што таа ја определува вкупната енергија на вакуумот која што е позната и како *темна енергија*.

ЗАБРЗУВАЧКА ЕКСПАНЗИЈА НА ВСЕЛЕНАТА

Во 1998 година, два независни тима на астрономи користејќи ги суперновите од типот 1A, кои што имаат добро позната осветленост, покажале дека вселената се шири и тоа забрзано! Идејата била да од познатата осветленост на суперновите се определи оддалеченоста а со тоа црвеното поместување на спекторот да биде мерка за забрзувањето на вселената. Оваа идеја на три астрономи од двете групи им донела Нобелова награда за физика во 2011 година.

Главната добивка од нивната работа е прикажана на сликата 4.



Сл. 4. Шематски приказ на податоците од кои следи заклучокот за забрзувачката природа на експанзијата на вселената.

На сликата е прикажана зависноста на магнитудата на суперновата од црвеното поместување за добро определените растојанија на суперновите од типот IA. До поместувања $z > 0,1$ (или растојанија поголеми од 10^9 светлосни години) поведението на сите криви е речиси идентично и не зависи од моделот, но потоа доаѓа до раздвојување или дивергенција на кривите што секако дека зависи од критичната густина на вселената ρ_c и вакуумската енергија.

Црвените криви се однесуваат на фитовањата направени со претпоставка дека вселената нема вакумска енергија а густина на материјата е во интервалот $0 \leq \rho \leq \rho_c$. Најдобро фитовање или усогласување со мерењата е прикажано со сини криви и е добиено кога е претпоставено дека густината на материјата во вселената е $\rho = \rho_c/3$, што е блиску до сегашните мерења, и предвид е замена енергијата на вакуумот. Со тоа е добиено дека вселената забрзано се шири а главна причина за тоа е енергијата на вакуумот!

ЛИТЕРАТУРА

[1] Saul Perlmutter, *Supernovae, Dark Energy, and the Accelerating Universe*, Physics Today, April 2003.