

Научное наследие Г.И.Танфильева и его значение для развития естественных наук (к 150-летию со дня рождения ученого)

Проанализирована научная, педагогическая и просвещенческая деятельность выдающегося ученого Г.И.Танфильева (1857—1928), показаны основные направления его творчества, вклад в изучение природы Украины.

О.Ю.Колтачихіна

Ханнес Альфвен та початок плазмової космології (до 100-річчя від дня народження вченого)

У статті розглядаються біографічні відомості щодо Нобелівського лауреата з фізики Ханнеса Альфвена та його праці з плазмової космології.



У цьому році виповнюється 100 років від дня народження Ханнеса Альфвена — шведського фізика, астрофізика, лауреата Нобелівської премії по фізиці (1970) [1—5].

Х.Альфвен народився 30 травня 1908 р. у м.Норчепінг. З 1926 р. він навчався в університеті м.Упсала. У 1934 р. Х.Альфвен захистив дисертацію і читав лекції з фізики в тому ж університеті. У 1940—1964 рр. він був професором з електроніки, а в 1964—

1973 рр. — професором з плазмової фізики в Королівському технологічному інституті (Стокгольм). Починаючи з 1967 р. він — професор прикладної фізики в університеті Каліфорнії, проводячи 6 місяців у США і 6 місяців на рік у Королівському технологічному інституті. Помер 2 квітня 1995 р.

Його дослідження присвячені електродинаміці, фізиці плазми, космічній фізиці та астрофізиці. У 1937 р. вчений висловив припущення про існування слабкого магнітного поля, що пронизує галактичний простір, і запропонував механізм прискорення космічних променів у цьому полі [6]. Сьогодні за допомогою масштабного галактичного магнітного поля пояснюють ізотропію космічних променів, що спостерігаються на Землі.

У 1939 р. Х.Альфвен створив теорію магнітних бур та північного саява, яка ґрунтувалась на сформульованій ним концепції «вморожених» у плазму магнітних полів. Ця концепція також лежить в основі уявлення про гідромагнітні хвилі, можливість існування яких була висловлена Х.Альфвенном у

1942 р. (альфвенівські хвилі). За допомогою «вморожених» магнітних полів ученому вдалося пояснити розподіл моменту кількості руху в системі. Згідно з його космогонічною теорією перенос моменту кількості руху назовні здійснюється за допомогою магнітного поля шляхом взаємодії між магнітним полем Сонця та заряджених частинок у хмарі, з якої утворились планети та супутники. Цими працями Х.Альфвен заклав основи нової галузі науки — космічної електродинаміки.

У 1950 р. вчений запропонував динамо-теорію утворення сонячного та планетного магнітного поля [7].

Відносно космології Х.Альфвен писав, що вона зародилася ще за часів міфів, але “міфи ці були не просто плодом багатого уявлення. Подекуди вони ґрунтувались на достовірних спостереженнях та містили в собі чималу частку того, що людина знала про Всесвіт. Так виникла космологія, яка являла собою мудре хитросплетіння достовірних фактів та фантастичних вигадок” [8, с.7]. Закони мікросвіту мають важливе фундаментальне значення, без них неможливо зрозуміти явища макроскопічні. Згідно з поглядами Х.Альфвена фізика плазми має велику значимість для астрофізики та особливо для космології. У 1962 р. Х.Альфвен спільно з О.Клейном розробив космологічну теорію, не засновану на загальній теорії відносності [8]. З праць Х.Альфвена та О.Клейна бере початок плазмова космологія. У ній Всесвіт досить неоднорідний за своєю структурою, має клітинну будову, причому клітини розділені плазмовими стінками. У Всесвіті, який вічний та нескінченний, в однаковій кількості присутні матерія та антиматерія. До того ж Х.Альфвен зробив радикальне припущення, що світ можна пояснити в термінах ньютонівської ме-

ханіки, відмовившись від загальної теорії відносності. О.Клейн розробив теорію розвитку метagalактичного середовища та сформулював критерій симетрії речовини та антиречовини, який означає поширення принципів фізики елементарних частинок на астрофізичні об’єкти.

Для розуміння моделі Всесвіту Альфвена—Клейна необхідно спочатку зрозуміти, що таке речовина та антиречовина, чим відрізняються елементарні частинки від античастинок, що таке амбіплазма. Атом звичайної речовини складається з позитивно зарядженого важкого ядра, навколо якого в нормальному стані обертаються один або декілька від’ємно заряджених легких електронів. Спочатку було встановлено, що речовина складається з двох елементарних частинок, а саме протона (важкий, заряджений позитивно) та електрона (легкий, його маса складає 1/1840 маси протона; заряджений від’ємно). Потім був відкритий нейтрон — незаряджений аналог протона. Виникло питання, чи не існує позитивно заряджений електрон, тобто частинка з масою електрона, але з позитивним зарядом. Можливість існування такої частинки підсилилась, коли П.Дірак створив теорію електрона. Ця теорія, що описує властивості електрона, вимагала існування «антиелектрона», тобто електрона з позитивним зарядом. У 1932 р. експериментально була виявлена така частинка, названа позитроном (маса дорівнює масі електрона, заряд +1, а не -1). Позитрон, що рухається у вакуумі без зіткнень з іншими частинками, може існувати нескінченно довго. Але якщо позитрон рухається в речовині — газі або твердому тілі, його час життя дуже малий. Це пов’язано з тим, що речовина містить велику кількість електро-

нів, і при зіткненні позитрона з електроном відбувається процес анігіляції (взаємного «знищення», при цьому від'ємний заряд електрона нейтралізується позитивним зарядом позитрона, а їх повна енергія переходить в гамма-випромінювання).

Відкриття позитрона зміцнило віру в симетрію елементарних частинок. Якщо існує «антиелектрон», то слід очікувати, що в протона також існує свій аналог — «антипротон», тобто частинка з тією ж масою, але з від'ємним зарядом. У 1955 р. був отриманий перший доказ існування антипротона, коли був запущений великий прискорювач в Берклі, США. У вакуумі при відсутності зіткнень з іншими частинками час життя антипротона нескінченний. Але якщо антипротони рухаються в речовині, то вони швидко зіштовхуються з протонами і відбувається анігіляція. Подібно до того, як у протона існує нейтральний аналог — нейтрон, існує нейтральний аналог антипротона — антинейтрон.

Відкриття антипротона викликало загальне задоволення, адже симетрія елементарних частинок стала експериментальним фактом. Якщо частинка і її античастинка знаходяться близько одна до одної, то відбувається анігіляція. Виникало питання, а що відбудеться, якщо близько будуть антипротон і позитрон? Якщо міркувати згідно із симетрією, відбудеться те ж саме, що у випадку протона і електрона: позитрон і антипротон утворять атом. У звичайному атомі водню ядро складається з протона, який заряджений позитивно і тому притягує від'ємно заряджений електрон. Якщо в атомі водню замінити протон антипротоном, то таке ядро буде відштовхувати електрон і притягувати позитрон. Позитрон притягується

антипротоном з тією ж силою, яка діє між електроном і протоном. Тобто позитрон буде обертатися по тим самим боровським орбітам, що і електрон в звичайному атомі водню. При переході між різними станами він буде випромінювати ті ж самі спектральні лінії, що і звичайний атом водню. Таким чином, антипротон і позитрон утворюватимуть те, що можна було б назвати антиатомом, тобто речовину, аналогічну звичайній речовині, з тією різницею, що ядро її атомів заряджене від'ємно та оточене позитронами, а не електронами. Якщо певний предмет, що складається з антиречовини, наблизиться до звичайної речовини, відбувається вибух.

Таким чином, Х.Альфвен приходить до висновку про можливість побудови світу з антиречовини. На жаль, експериментальна техніка не дозволяє отримати антиречовину у великій кількості. На початку 2008 р. Косімо Бамбі та Олексій Петров з Університету Уейн Стейт у Детройті, а також Олександр Долгов з італійського Національного інституту ядерної фізики зробили висновок, що в центрі нашої Галактики існують маленькі чорні дірки, які виникли в момент Великого вибуху й виробляють величезну кількість антиречовини [9].

Далі необхідно розглянути, як відрізнити звичайну зорю від зорі з антиречовини? Х.Альфвен приходить до висновку, що в порожньому просторі відрізнити їх неможливо. Але простір між зорями не є порожнім. Він заповнений розрідженою плазмою, яка взаємодіє із зорями. Термін «плазма» з'явився в середині ХХ ст. Плазма — це іонізований газ. Іншими словами, якщо з молекули газу видалити електрон, то частина молекули, що залишиться, буде

називатися іоном, містить на один електрон менше, ніж необхідно для нейтралізації заряду ядра, і тому заряджена позитивно. У таких випадках говорять, що газ іонізується. У космічній фізиці плазма відіграє дуже важливу роль: зорі повністю складаються з плазми, простір між зорями, з яких складається галактика, заповнений сильно розрідженою плазмою, міжгалактичний простір також складається з плазми. Це означає, що більша частина речовини у Всесвіті знаходиться в стані плазми. Плазма з космосу може попадати на зорю; в свою чергу зоря може викидати плазму в навколишній простір. Х.Альфвен писав: «якщо антизорі існують, то вони повинні викидати антиречовину, і в космічному просторі повинна відбуватися взаємодія між койноречовиною [звичайною речовиною] та антиречовиною» [8, с. 42]. Виникає питання, що відбудеться, якщо дві прилеглі зорі складатимуться з різних видів речовини (антиречовини та звичайної речовини). Припустимо, що на невеликій відстані одна від одної розташовані звичайна зоря, оточена міжзоряною плазмою, і антизоря, оточена антиплазмою. Десь у просторі між зорями проходить поверхня зіткнення плазми (Х.Альфвен називає її «койноплазмою») з антиплазмою. На цій поверхні, припускає вчений, буде спостерігатися ефект, подібний явищу Лейденфроста. Це явище полягає в тому, що крапля води на розпеченій плиті левітує за рахунок тонкого слою пари (більш детально [10]). При змішуванні плазми з антиплазмою відбувається анігіляція, що супроводжується інтенсивним енерговиділенням. Пограничний шар сильно нагрівається і стає при цьому розрідженим. Тому анігіляція в пограничному шарі впо-

вільнюється, її швидкість тепер може не перевищувати величини, достатньої для підтримки пограничного шару. Таким чином Х.Альфвен припускає утворення «слою Лейденфроста», що ізолює плазму від антиплазми.

Важливою в побудові моделі Альфвена—Клейна є амбіплазма (суміш звичайної речовини і антиречовини), що заповнює величезну сферу. Х.Альфвен при побудові своєї моделі Всесвіту припускає, що його «початковий стан» являв собою однорідну суміш речовини та антиречовини, тобто амбіплазму. На протилежність до моделі Великого вибуху у Х.Альфвена амбіплазма має дуже низьку густину (модель Великого вибуху побудована на припущенні про велику густину речовини). При цьому амбіплазма заповнює весь об'єм, який ми можемо охопити (у моделі Великого вибуху початок — це «точка» або об'єм нескінченно малого розміру).

Припустимо, що амбіплазма заповнює величезну сферу. Густина в усьому об'ємі однакова. Імовірність зіткнення частинок з античастинками дуже мала, тобто анігіляцією можна нехтувати. Єдина помітна сила, що діє на амбіплазму, — це сила тяжіння. Різні області притягуються одна до одної, тому сфера починає стискатися, що триває трильйони років: радіус сфери зменшується, а густина збільшується.

Наявність гравітації означає, що будь-яка маса притягує до себе будь-яку іншу масу із силою, обернено пропорційною квадрату відстані між ними. Маса речовини, зосереджена в центрі, буде притягатися іншою сферою, оскільки ж сили, прикладені до неї, симетричні за всіма напрямками, то вони компенсують одна одну. Таким чином, результуюча сила тяжіння, прикладена

до центральної частини сфери, дорівнює нулю, а це означає, що вона залишається нерухомою. Але якщо маса знаходиться на будь-якій відстані від центру, то сили тяжіння, які діють на неї, несиметричні, причому їх результуюча спрямована до центру. Тобто сфера з амбіплазми стягується до центру згідно з тим же законом, якому підпорядковується розширення Метагалактики.

Будь-які частини сфери падають до центру з швидкістю, пропорційною їх відстані, та досягнуть центру одночасно. А це означає, що вся маса речовини, яка заповнює сферу, в певний момент повинна сконцентруватися в одній точці. Але це неможливо через збурення, тому не вся маса газу рухатиметься до центру по прямій. Це означає, що Метагалактика не може стягуватися в малий об'єм, стиснувшись до мінімальних розмірів, вона починає розширюватися. Якщо Метагалактика складається лише зі звичайної речовини, то дана модель перестає відображати реальну дійсність, але для моделі з амбіплазмою (тобто наявністю антиречовини) такого не відбувається. Це зумовлено тим, що задовго до моменту максимального стискання через

анігіляції, які змінюють характер руху, виникають нові взаємодії. Тому в рамках моделі Всесвіту з амбіплазмою не досягається такого ступеня стискання, при якому вона перестала б відповідати фізичній реальній картині.

Х.Альфвен розглядав свою модель у вигляді сфери, яка стискається доти, доки густина не досягає величини, коли стають істотними процеси анігіляції. Починаючи з цього моменту, вступають в силу радіаційні процеси, оскільки анігіляція породжує випромінювання — головним чином у вигляді гамма-випромінювання та радіохвиль. Відносно швидке накопичення променистої енергії приводить до радіаційного вибуху. Під дією тиску випромінювання стискання припиняється і починається розширення, яке продовжується і до теперішнього часу, про що свідчить галактичне червоне зміщення. Одночасно у Всесвіті відбувається конденсація речовини. Під дією сил тяжіння плазма концентрується та утворює галактики. На початку свого існування галактики складаються з амбіплазми, яка в процесі стискання породжує інтенсивне випромінювання. Розподіл речовини та антиречовини запобігає знищенню галактик. Та частина амбіплазми, яка не

Відмінності розглянутих космологічних моделей

Модель Великого вибуху (модель Леметра—Гамова)	Модель Всесвіту Альфвена—Клейна
1. Всесвіт містить лише речовину. Антиречовина до її складу не входить.	1. Симетрія речовини і антиречовини.
2. Всесвіт виникає в певний момент часу та являє собою в цей момент вибух гігантських розмірів.	2. Початковий стан являє собою розріджену амбіплазму, яка стискається під дією сил тяжіння.
3. Метагалактика займає весь Всесвіт.	3. Існує можливість існування інших метагалактик, подібних нашій. Вірогідно, що сукупність таких метагалактик утворює систему ще більших розмірів, яку Х.Альфвен називає Терагалактикою. Таким чином, відроджуються ідеї Шарльє [11].

піддалася розподілу, починає вигорати. Поступово галактики приходять до «нормального» стану — стану, в якому вони знаходяться нині.

На закінчення наведемо основні відмінності моделі Великого вибуху від моделі Всесвіту Альфвена—Клейна у вигляді таблиці.

Погляди Х.Альфвена і О.Клейна на симетрію речовини та антиречовини у Всесвіті не поділяються більшістю

фізиків та астрономів [12]. По-перше, відсутні експериментальні докази існування антиречовини; по-друге, в космічних променях відсутні антиядра хімічних елементів. Тим не менш, зарядово-симетрична модель має подальший розвиток [13, 14].

Остаточний вибір між різними теоріями можливий лише тоді, коли буде виявлена антиречовина або буде доведено, що Всесвіт її не містить.

1. *Arrhenius G., F lthammar C. G., Kopal Z.* Hannes Alfven — The First Seventy Years // *Astrophysics and Space Science*. — 1978. — Vol. 55. — P. 3—5.
2. *Pease R.S., Lindqvist S.* Hannes Olof Gösta Alfven // *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*. — 1998. — Vol. 44. — P. 3—19.
3. *F lthammar C. G.* Hannes Alfven // *Physic Today*. — 1995. — September. — P. 118—119.
4. *Колчинский И.Г., Корсунь А.А., Подригес М.Г.* Астрономы. Биографический справочник. — Киев: Наук. думка, 1977. — С. 10—11.
5. *Храмов Ю.А.* История физики. — К.: Феникс, 2006. — С. 360.
6. *Alfven H.* Versuch zu einer Theorie ber die Entstehung der kosmischen Strahlung // *Zeitschrift f r Physik. Hadrons and Nuclei*. — 1937. — Bd. 105, № 5-6. — S. 319—333.
7. *Alfven H.* Discussion of the Origin of the Terrestrial and Solar Magnetic Fields // *Tellus*. — № 2. — P. 74—82.
8. *Альвен Г.* Миры и антимирры. — М.: Мир, 1968. — 118 с.
9. *Vambi C., Dolgov A.D., Petrov A.A.* Primordial Black Holes and the Observed Galactic 511 keV Line // arXiv:0801.2786v2 [astro-ph] 25 Jan 2008.
10. *Саранин В.А.* Равновесие жидкости и его устойчивости. Простая теория и доступные опыты. — М.: Ин-т компьютер. исслед., 2002. — 144 с.
11. *Charlier K.V.L.* How Infinite Can be Built up // *Arkiv for matematik, astronomi och fysik*. — 1922. — Bd. 16, № 22. — S. 1—34.
12. *Стейгмен Дж.* Антивещество и космология // *УФН*. — 1971. — Т. 103, вып. 3. — С. 539—548.
13. <http://www.plasmacosmology.net/>.
14. <http://bigbangneverhappened.org/>.

Одержано 05.05.2008

О.Ю.Колтачихина

Ханнес Альфвен и начало плазмовой космологии (к столетию со дня рождения ученого)

В статье рассматриваются биографические сведения относительно Нобелевского лауреата по физике Ханнеса Альфвена и его работы в области плазменной космологии.