



Олександр Шевчук

# ДИВНІ АБО КВАРКОВІ ЗОРІ

## Слово про кварки

Нещодавно американські фізики обґрунтували існування дивних зір, які маскуються під нейтронні.

Як відомо, ядра атомів складаються з протонів і нейтронів, які побудовані з ще менших цеглинок світобудови – кварків. Фізики класифікують кварки за поколіннями. На відміну від людей, кварки різних поколінь відрізняються не віком і ступенем родинних зв'язків, а масою: що більший номер покоління, то більша маса кварків.

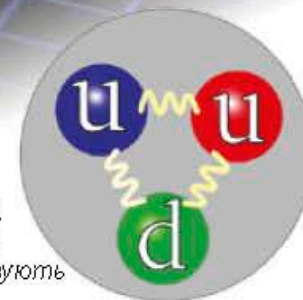
Кварки першого покоління – це *u*- та *d*-кварки. До складу протона входять два *u*-кварки і один *d*-кварк, а нейтрон є триплетом і складається з одного *u*-кварка і пари *d*-кварків. Античастинки складаються з антикварків (мал. 1).

До складу інших елементарних частинок можуть входити масивніші кварки другого та третього поколінь. Прикладом кварка другого покоління є *s*-кварк, або так званий „дивний” кварк. Його назва пов'язана з тим, що він входить до складу елементарних частинок, властивості яких раніше здавались фізикам дивними. До кварків другого покоління належить також *c*-кварк, або „зачарований” кварк. Його незвична назва пов'язана з тим, що він входить до складу елементарних частинок, які розпадаються набагато швидше, ніж передбачає теорія. *t*-кварк, або „топ” кварк, та *b*-кварк – це кварки третього покоління.

Кварки „цементовані” в ядрі завдяки обміну особливими частинками – глюонами. У вільному стані кварки не існують.



Мал. 1. Кваркова структура деяких елементарних частинок. Ліворуч: протона (*p*), антинейтрона (*n<sup>-</sup>*), антипротона (*p<sup>-</sup>*). Праворуч: нейтрона (*n*). Хвилясті лінії між кварками символізують обмін глюонами



## То що ж таке кваркові зорі?

Теоретики вважають, що в космосі можуть існувати екзотичні об'єкти, повністю або частково побудовані з вільних кварків, не об'єднаних у дуплети та триплети.

Що відбувається з речовиною за такої надвисокої густини, ми не знаємо. Популярною є гіпотеза про можливість перетворення нейтронної матерії в кваркову. Відповідно до цієї моделі, якщо густина речовини не перевищує густини в центрі нейтронної зорі, кварки утримуються всередині нейтрона. В цьому випадку в надрах речовини нейтронної зорі можливе народження важчих частинок (гіперонів<sup>1</sup>).

Якщо густина у центрі нейтронної зорі більша за деяке критичне значення, нейтрони розташовуються впритул один до одного, а тому кварки вільно пересуваються від одного нейтрона до іншого по всій області надвисокої густини. Речовину в такому стані називають кварковим газом або кварковою рідиною. Об'єкт, який складається із кваркового газу, і є кварковою зорею.

Отже, кваркова зоря – це гіпотетичне астрономічне тіло, що складається з кваркової матерії. Такі зорі є проміжними за масою та густиною речовини між нейтронними зорями і чорними дірами.

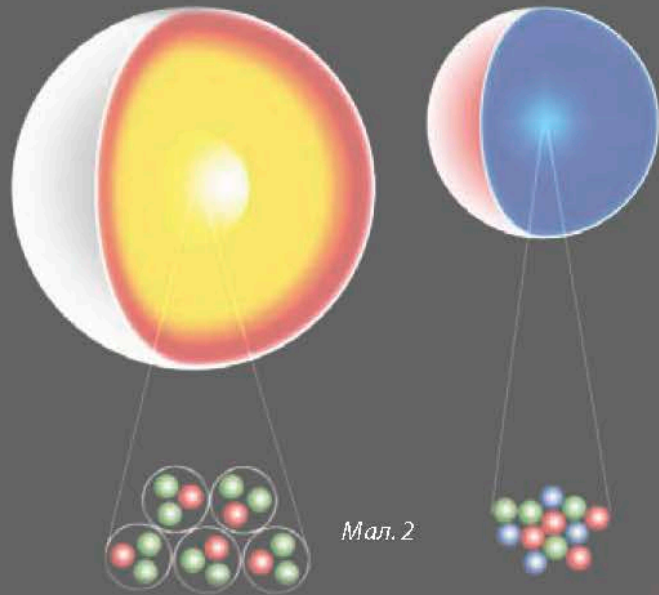
Відповідно до теоретичної моделі, яку в середині 80-х років запропонував відомий фізик-теоретик і математик Едвард Віттен, суміш вільних кварків може бути стабільною. Оскільки в ній присутні дивні кварки, її називають дивною кварковою матерією (*strange quark matter, SQM*). У протонах і нейтронах *s*-кварків немає, зате вони входять до складу важчих частинок – гіперонів. Тому кваркові зорі частіше називають дивними або гіперонними.

Про народження дивних зір можуть сигналізувати надпотужні секундні гамма-сплески (*gamma-ray bursts, GRBs*). Їх вивчають вже багато років, проте їхнє походження досі є предметом дискусій. Більшість фахівців вважає, що такі сплески генеруються при зіткненні нейтронних зір.

<sup>1</sup>Гіперони – елементарні частинки, які мають масу, більшу за масу нейтрона та протона, і до складу яких входять *s*-кварки і/або антикварки.







Мал. 2

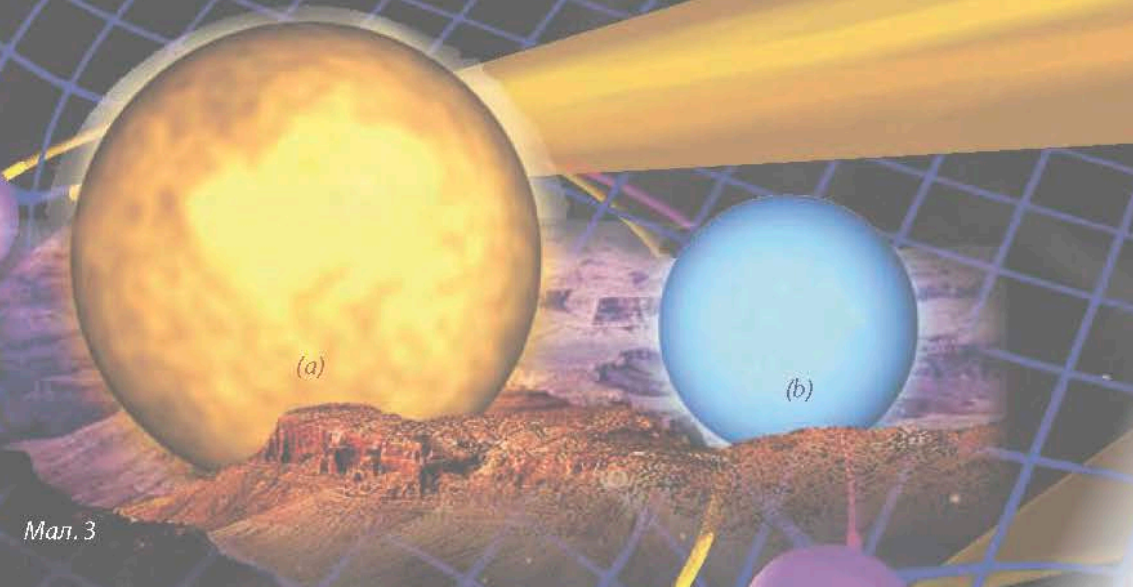
Мал. 2. Нейтронна зоря (ліворуч) і дивна (кваркова) зоря. Показані відносні розміри зір і їхній кварковий склад. Червоні кружечки – *u*-кварки, зелені – *d*-кварки, блакитні – дивні кварки (*s*-кварки). Ліворуч кварки укладені в нейтрони; праворуч – вільні

Теорією дивних зір займаються дуже багато вчених, однак деякі властивості кваркового стану матерії до кінця не зрозумілі. Не ясно, наприклад, чи є перехід нейтронної матерії в кваркову зворотнім? Чи буде дивна зоря цілком складатися з кваркової речовини? Можливо, кваркове ядро вкрите досить товстим шаром нейтронної або звичайної речовини. В останньому випадку відрізнити її від нейтронної зорі досить важко.

## Характеристика надщільних зоряних об'єктів

У нейтронних зір обернено пропорційна залежність радіусу від маси. Що менша маса нейтронної зорі, то її радіус більший, тому найменший розмір мають наймасивніші нейтронні зорі. Радіус найменшої нейтронної зорі 10–12 км. У кваркових зір, як це впливає з теоретичних розрахунків, найбільший розмір мають найважчі дивні зорі, а зорі малої маси можуть бути дуже маленькими (мал. 2). Якщо температура поверхні нейтронної зорі істотно нижча, ніж мала би бути відповідно до її віку, або якщо радіус зорі набагато менший, ніж 10 км, можна припустити, що спостережуваний об'єкт є дивною зорею (мал. 3).

Мал. 4



Мал. 3

Мал. 3. Розміри (а) нейтронної та (b) кваркової зір у порівнянні з земним плоскогір'ям  
Мал. 4. Залишок Наднової SN 2006gy

## Кандидати у кваркові зорі

Станом на 2012 рік існування кваркових зір не доведено. Є лише теоретичні передумови можливості „переродження” нейтронних зір у кваркові. Відбір „кандидатів” здійснюється на основі аналізу періодів обертання та згаданої вище аномальної залежності розмірів зір від маси. Можливо, кварковою зорею є пульсар XTE J1739-285. Маса кандидатів у кваркові зорі близька до верхньої межі допустимих мас нейтронних зір і є в межах 2–2,5 мас Сонця.

Ось астрофізичні об'єкти, які ймовірно складаються з кваркової фази матерії:

- *RX J1856.5-3754*. Цей об'єкт відкритий як нейтронна зоря, проте 2002 року Дж. Дрейк (*J. J. Drake*) з колегами за допомогою даних, отриманих телескопом „Чандра”, припустив, що тіло може бути кварковою зорею з радіусом 3,8–8,2 км, віддаленою на 400 світлових років.

- Учені з канадського університету Калгарі припускають, що залишок яскравої Наднової SN 2006gy 18 вересня 2006 року є кварковою зорею (мал. 4).

- Припускають, що кварковими зорями можуть бути об'єкти на місці Наднових SN 2005gj та SN 2005ap.

Чекаємо від астрономів відкриття кваркових зір!

