

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
НАД ВЕСЕЛКОЮ.....	19
ДЕ ПОПУЛЯЦІЯ ПІ?	43
МАЛЕНЬКИЙ «БАБАХ».....	59
ГАЗОВА ХМАРА, ЯКІЙ ПОЩАСТИЛО.....	79
ТЕМНІ ВІКИ.....	97
ФРАГМЕНТАЦІЯ ЗІРОК.....	124
ЗОРЯНА АРХЕОЛОГІЯ.....	141
ГАЛАКТИЧНИЙ КАНІБАЛІЗМ.....	160
СУПІНКИ ВСЕСВІТУ.....	187
ЕПОХА РЕІОНІЗАЦІЇ.....	204
НЕВІДОМІ НЕВІДОМІ.....	231
ПОДЯКИ.....	247
ІНШІ КОРИСНІ ДЖЕРЕЛА.....	249
АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	250

ВСТУП

*Навчіть мене спокою свого, о зорі!
Ви, неба осяявши звід неозорій,
Щезаєте вранці, мов слід на воді,
Та старість і смерть вічним вам не страшні.*

Ральф Волдо Емерсон

В епоху прискорювачів частинок і космічних телескопів складно навіть уявити собі, що колись ми розгадували найбільші таємниці космосу, просто дивлячись угору. Погляньте на нічне небо. Що ви там побачите? Якщо вам пощастило мешкати в місці з мінімальним світловим забрудненням — найпевніше, це буде розлитий по всьому небосхилу Чумацький Шлях. Або ж просто повня. Хоча загалом найхарактернішою рисою нічного неба є те, що воно темне. Але чому? Таке коротеньке слово, і скільки всього за ним криється.

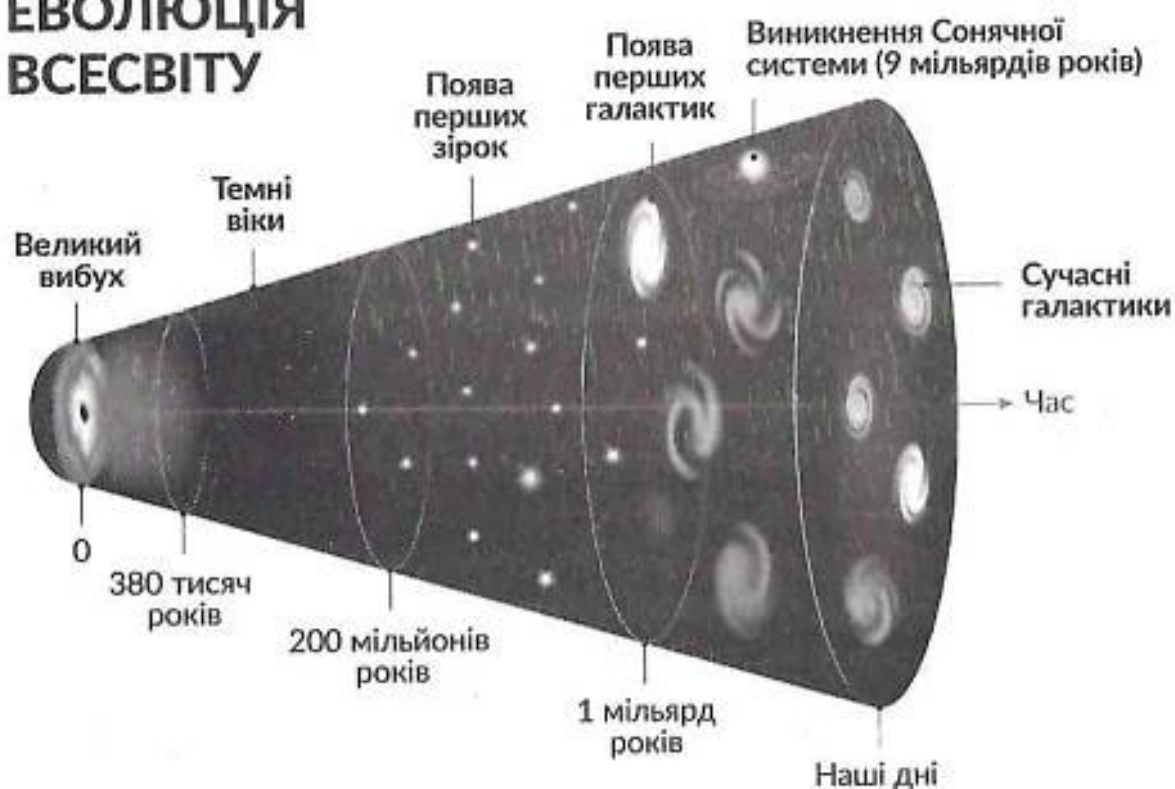
Віками натурфілософи, фізики, астрономи й навіть поети міркували, чому небо чорне. Не маючи доказів протилежного, вони вважали, що Всесвіт нескінченний у просторі та часі. Фотометричний парадокс, який сформулював німецький астроном Генріх Вільгельм Ольберс, звучить так: якщо Всесвіт вічний у часі та незмінний у просторі, отже, куди не глянь, погляд скрізь мав би нагряпляти на зірку. Це питання захопило уяву багатьох, навіть самого Едгара Аллана По, який у прозовій поемі «Еврика» 1848 року писав: «Якби кількість зірок була нескінченна, небо рівномірно світилося б, як, наприклад, наша галактика, позаяк на небосхилі не було б жодного клаптика без зірки».

Небо справді мало б скрізь світитися яскраво, як Сонце, але це не так, адже в такому разі нам би не знадобилося вуличне освітлення. Тож покоління за поколінням ми міркували, чому з настанням ночі небо темніє. Щоб позбутися цього

парадокса, треба відкинути припущення, на яких він заснований. У нашому випадку неправильні обидва — і про нескінченний вік, і про стаціонарність Всесвіту. Наш Всесвіт виник унаслідок Великого вибуху, з якого почалося розширення простору й часу. Інакше кажучи, теорія Великого вибуху передбачає, що Всесвіт зародився у певний момент (себто він не вічний), а також що він розширюється (себто змінюється в просторі). І це розв'язує наш парадокс: попри те, що від Великого вибуху сплило цілих 14 млрд років, цього часу все ж недостатньо, щоб заповнити зірками все нічне небо. Навіть на знімках глибокого космосу з телескопа «Габбл» видно, що галактики займають невелику частину зображення, і в кожній із них — мільярди зірок. Відкидання припущення про вічний Всесвіт тягне за собою грандіозні наслідки. Всесвіт мав свій початок, а отже, в ньому були не просто зорі, а перші зорі, а після них — зорі другого та третього покоління. Ми перебуваємо тільки на одному з етапів набагато більшого життєвого циклу космосу (малюнок 1) і можемо тішитися, що непогано цей цикл розуміємо. Ми спостерігаємо за молодими і старими зорями, за галактиками, що виникли в сиву давнину, і за тими, що сформувалися зовсім недавно. У наші часи ми маємо безпрецедентний доступ до Всесвіту та його історії, а наші можливості заповнити прогалини в знаннях зростають зі швидкістю світла. Астрономія еволюціонувала від навігаційного інструменту для давніх цивілізацій до хобі для допитливих багатіїв і, зрештою, до екзистенційного вчення, що розповідає нам про Всесвіт. Вона аж надто сильно вкорінилася в наше повсякдення: якщо раніше ми святкували відкриття нових зірок і галактик, то сьогодні заледве підіймаємо брову, коли знаходять нову планету. Еволюція Всесвіту відома нам аж до моменту його народження — Великого вибуху. У нас безліч даних... яких, однак, недостатньо. Попри дивовижний технологічний прогрес, ще зовсім донедавна ми нічого не знали про один із найбільш ранніх періодів у історії Всесвіту — від 380 тисяч років з Великого вибуху й до 1 млрд

років після нього панували Темні віки. Всесвіт був темним і порожнім, аж тут, менш як за 200 млн років після Великого вибуху, запусився ланцюг ядерних реакцій, і спалахнула перша зірка, випромінивши світло й тепло в порожній навколишній простір. Загорілася одна зоря, за нею — інша, і так тривало, допоки в небі не зажеврило перше світло. Планет іще не було, тому не існувало нікого, хто міг би порадіти народженню перших зірок і пожуритися їхній майже миттєвій загибелі. Щойно в небі запалахкотіло друге покоління зірок, як перше швидко кануло в Лету, одначе саме їхня поява підготувала Всесвіт до того різючого розмаїття структур і життя, яке ми спостерігаємо нині. Відсутність даних з епохи перших зірок непокоїть вашу місцеву астрофізикиню з двох причин.

ЕВОЛЮЦІЯ ВСЕСВІТУ



Малюнок 1. Нам бракує відомостей про Всесвіт від приблизно 380 тисяч до 1 млрд років після Великого вибуху

1. Нестача даних = хибні висновки

Найперше — дані на таких масштабах дуже важливі. У будь-якій ситуації брак даних створює проблему, адже саме завдяки їм ми ухвалюємо рішення й набуваємо знань. Недостатність даних може призвести до неповного, ба навіть неправильного розуміння питання, а то й узагалі до грубих помилок. Уявімо собі, ніби жителі сусідньої з нами галактики Андромеди вирішили вивчити цикл людського життя. Якщо ці іншопланетні дослідники подібні до земних, отже, вони тяжко працюють і залежать від примх фінансових організацій, що виділяють їм на дослідження кошти й визначають час, за який ці кошти слід витратити. Наші прибульці не мають змоги збирати дані, спостерігаючи за землянами впродовж 30 років, тому вдаються до методу, яким послуговуються всі вчені, що вивчають великі популяції: роблять вибірку. Наприклад, фотографують дитячі садки та ясла, австралійські пляжі та казино в Лас-Вегасі. Якщо ж їм вирішать скоротити фінансування, вони можуть обмежитися всього однією локацією, вибраною навмання, скажімо, чергою на «Космічну гору» в Діснейленді. Коли вони отримають ці дані, то почнуть їх аналізувати, навіть не знаючи, що їм бракує значної групи населення, а саме вагітних і людських дитинчат віком до семи років. На превеликий жаль для наших чужопланетних дослідників, неповні дані часто призводять до хибних висновків. Без згаданих вище груп їм буде складно збагнути життєвий цикл людини і легко зійти на манівці. Можливо, опрацьовуючи джерела, вони натраплять на історії про чаплю, що приносить дітей, і вигукнуть «Еврика!», хоча ця інформація й буде хибним доповненням до тієї, що вони вже зібрали. Ох! Тепер бачите, як нестача даних може призвести до хибних висновків?

Із нашого, людського, погляду, неповні космологічні дані — те саме, що й нестача знань про людське життя від моменту зачаття до походу в перший клас для іншопланетян. Як порівняти з повним життєвим циклом, це, здавалося б, дрібниця,

та коли зважити, наскільки ці роки визначальні для людей, стає ясно, чому астрофізики так переймаються дрібкою даних про Темні віки, коли вивчають історію нашого Всесвіту. До яких хибних висновків дійшли ми стосовно зірок, що оточують нас, або ж теперішньої поведінки Всесвіту лише через те, що нам бракує цих даних?

Утім, є ще одна причина, чому вашу місцеву астрофізики-ню тривожить нестача даних.

2. Епоха перших зірок унікальна

Перші зірки — це не перше видання «Гаррі Поттера», де та сама історія надрукована на старіших сторінках. Перша зоря — це окремий вид, відсутня ланка, сліди якої могли й не дійти до наших днів. Але ж усі зірки однакові, хіба ні? Он у нас під боком є ціла зоря, тож, якщо зосередимося на ній єдиній, це збереже нам багато часу. Вигляньте в нічне небо — і побачите там лише кілька тисяч із декількох мільярдів зірок Чумацького Шляху. Для Всесвіту наше Сонце — цілком собі звичайна й нічим не примітна зоря. Та навіть якщо так, робити узагальнення про всі зірки, ґрунтуючись на вивченні тільки тієї, що найближча до нас, — це те саме, якби наші іншопланетні дослідники вивчили тільки одну людину й дійшли висновку, що все людство має ім'я Елвіс, метр вісімдесят зросту й любить бутерброди з арахісовим маслом. Лише за останні 250 років ми зрозуміли, що не всі зірки такі самі, як Сонце, й насправді більшість із них відрізняється від нього.

Переважно зірки складаються з водню та гелію, однак видимі нам зорі можна поділити на три популяції за вмістом у них металів. Говорячи про метали в астрономії, ми не маємо на увазі золото, срібло, платину або що в чистому вигляді. Коли подивитися на розмаїття елементів у Всесвіті, найбільша частка припадає на водень і гелій. Через це, а ще через те, що астрофізики звикли заокруглювати астрономічні відстані та проміжки часу, ми заокруглили й періодичну таблицю

рядок і запитати: а як щодо найстаріших зірок — тих, у яких взагалі немає металів і з яких усе почалося? Де вони? Ці перші зорі утворили перші метали, засіявши Всесвіт і уможлививши формування галактик. Вони не мали у своєму складі металів, і їх відносять до зірок популяції III¹.

Зорі популяції III були древніми гігантами, такими собі космічними мамонтами, й мали в кількасот разів вищу масу, ніж у нашого Сонця. Життя їхнє було коротким: лічені мільйони років проти життєвих циклів у 10 млрд років менш масивних зірок, як-от Сонце. Відповідником такого життєвого циклу в антропології могло би стати відкриття людиноподібного доісторичного виду, який би досягав зрілості й помирав усього за три дні від народження. Та навіть за таке коротке життя ті зорі дуже вплинули на Всесвіт. Спалахуючи, вони осявали його, несли в нього світло й метали, з яких потім утворилися зірки, планети та ми з вами.

.....

У процесі роботи над цією книжкою я опублікувала у твіттері знімок, на якому із зосередженим виразом пишу якийсь розділ, тримаючи на плечі свою доньку віком усього п'ять тижнів. Було це приблизно о дев'ятій ранку. О четвертій пополудні я стала почуватися дивно й не могла правильно додати прості цифри, коли допомагала старшій доньці з домашнім завданням. А вже о п'ятій я задихалась у відділенні невідкладної допомоги сусідньої лікарні. У мене стався сепсис — небезпечне для життя захворювання, за якого інфекція пригнічує імунну систему, що призводить до відмови органів і у 20 % випадків — до смерті. Навіщо я це пишу? Частково, бо сподіваюся викликати у вас співчуття, щоб ви таки пішли в книгарню й купили мою книжку: я ж бо мало не померла, пишучи її, тож

1 Контрінтуїтивний порядок нумерації популяцій — наслідок послідовності їхнього відкриття й групування (тут і далі прим. автора, якщо не вказано інакше).

не скупіться! Та насправді я ділюся цією історією, тому що однією з головних причин, чому мій організм зламався, була нестача зіркового чи то пак — раз ми вже так близько знайомі з нашою зорею — сонячного світла. Після місяців лікування й відновлення виявилось, що в мене виник дефіцит вітаміну D, який людський організм виробляє під дією ультрафіолетового випромінювання спектра B, що надходить від Сонця. Перебування на сонці часто асоціюється з опіками, раком шкіри й тепловими ударами — серйозними наслідками, — однак повна відсутність сонячного світла також шкідлива для людини. Гостра нестача вітаміну D — головна причина ослаблення кісток і погіршення імунітету. Як науковиця, я розумію, що це лише окремий випадок, і я не можу виступати точним прикладом того, до чого дефіцит вітаміну D здатен довести організм. Проте дозвольте скористатися цією особистою драмою, щоб донести вам дещо інше. Сонце потрібне людині, бо від нього залежить не лише фізичне середовище, що її оточує, а й біологічна оболонка — власне, тіло. Ми зроблені з металів, що сформувалися в перших зірках й у поколіннях зірок, які прийшли опісля. Кожен із нас — це машина, створена з викидів померлих зір, для роботи якої потрібне сонячне світло.

Розуміти Всесвіт важливо з багатьох причин, а епоха перших зірок цілком може пролити світло не тільки на ранні роки життя Всесвіту, а й на сучасні загадки, які намагаються розгадати сьгоднішні астрофізики. Щоб краще зрозуміти проблемного підлітка, треба знати, що було з ним у ранньому дитинстві. Тож, можливо, негаразди, крізь які пройшли галактики за 500 тисяч років після Великого вибуху, здатні пояснити, чому навколо сучасного Чумацького Шляху обертається стільки карликових галактик.

Наука неможлива без запитань, і я плекаю надію, що наприкінці цього вступу у вас їх більше, ніж на початку. Сподіваймося,

що до кінця книжки на більшість із них знайдуться відповіді... утім, це наука, тому цілком можливо, що в процесі у вас лише додаватимуться нові запитання — в цьому, зрештою, й полягає суть наукового пізнання. І хай ми досі блукаємо в темряві, але вже маємо деякі важливі факти, за допомогою яких можемо розпочати пошуки першого світла. Ми точно знаємо, що перші зорі існували, бо Всесвіт народився з Великого вибуху, тобто все мало свою початкову версію. Історія Всесвіту від Великого вибуху нам відома, проте епоха перших зірок — це все ще темна пляма завдовжки в мільярд років. І заповнити цю прогалину потрібно не лише для того, щоб мати повну картину, а й тому, що астрофізика — екзотична наука, яка сама собою вартує вивчення. Найперші зорі були ще тими дивовижками: гарячі, масивні, недовговічні. Це вони створили метали (елементи, масивніші за гелій), якими нині повниться Всесвіт і з яких складається наша планета й ми самі. Розуміння того, яким був молодий Всесвіт, допоможе розібратися з великими таємницями сучасності: наприклад, у який спосіб чорна діра в серці нашої галактики виросла до таких розмірів. У цій книжці йдеться про те, що нам відомо про епоху перших зірок, ранніх чорних дір та перших галактик. Описано тут і шлях до відкриття зірок популяції III через зоряну археологію та пошуки сигналів, які вони випромінили перед смертю. Разом ми інтерпретуємо зачіпки, залишені Великим вибухом, і дослідимо рештки найстаріших галактик, що збереглися у Всесвіті. Для цього нам знадобиться чимало різних телескопів — від космічних інфрачервоних до звичайних радіоагрегатів, розкиданих по пустелях і полях нашої планети. Та найголовнішим нашим інструментом стане інтерес, з яким ми обмацуватимемо, обшукуватимемо й нарешті таки відчинимо ляду, що приховує під собою часи, які донедавна ховалися від нас у мороці. І те, що ми побачимо, таємниці, які піднімемо з глибоких надр... Словом, уможуйтеся зручніше й приготуйтеся споглядати світанок Всесвіту.

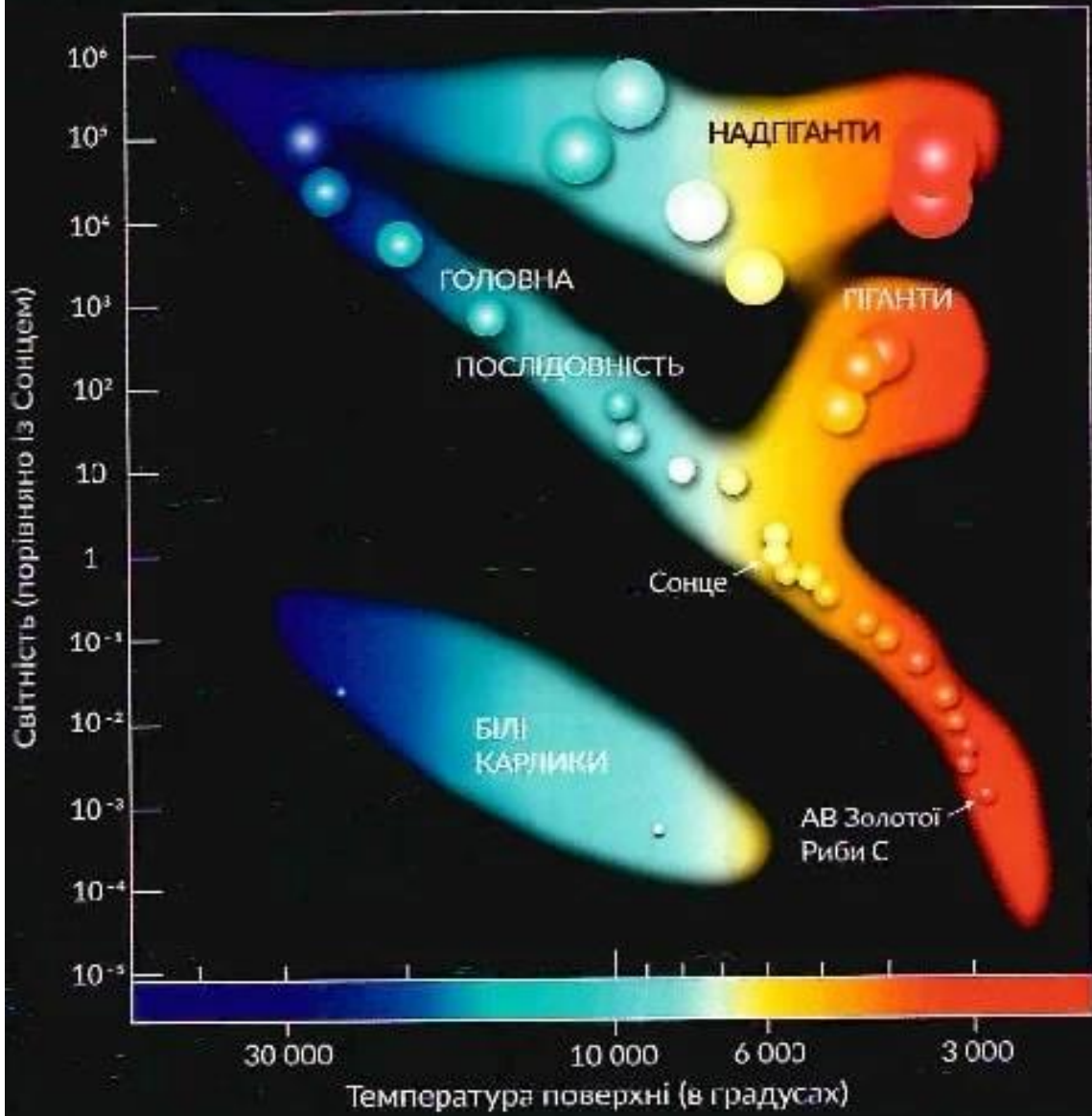


Сонячна корона під час повного затемнення 2017 року



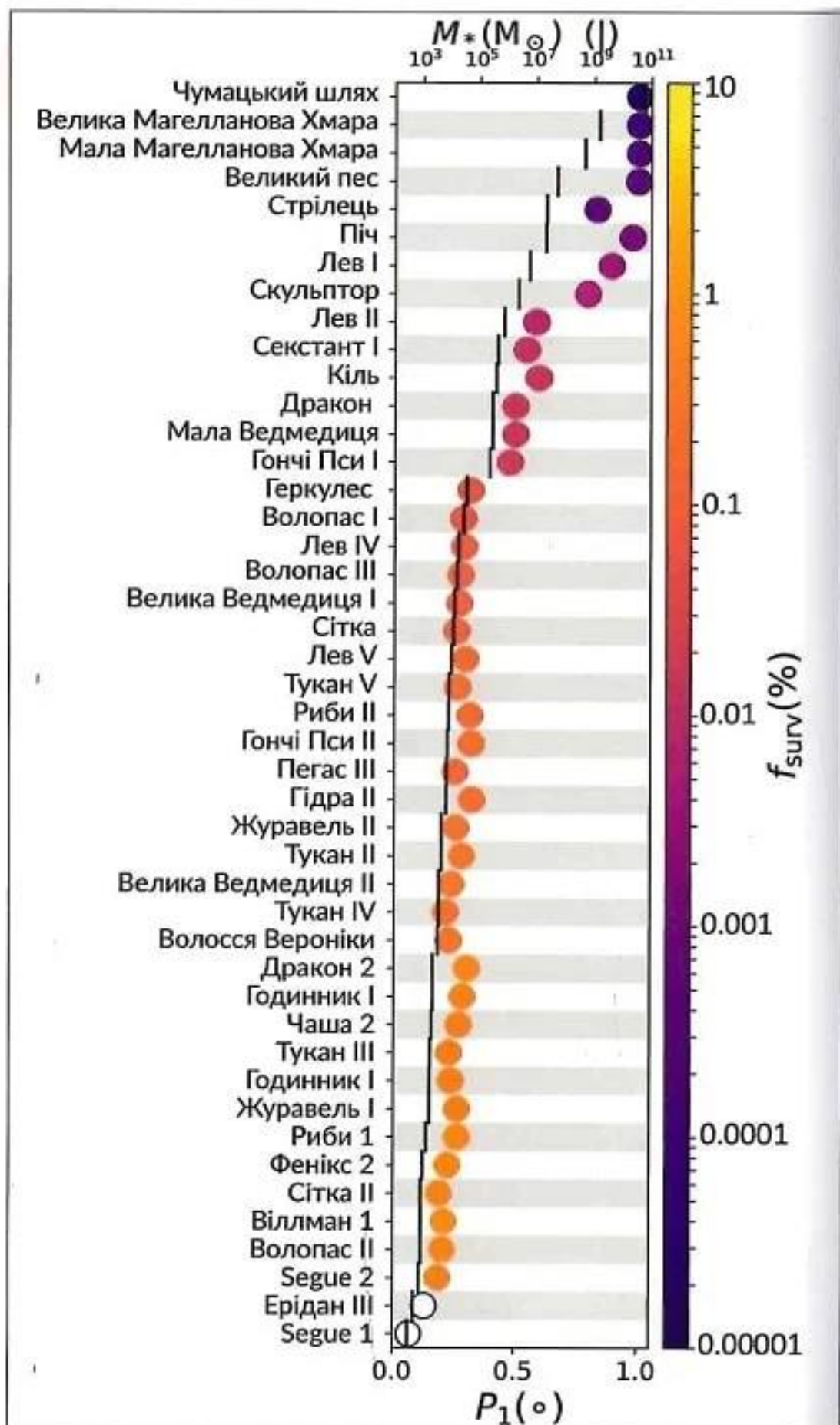
Корона під час затемнення 1925 року на картині Говарда Батлера

Діаграма Герцшпрунга – Расселла

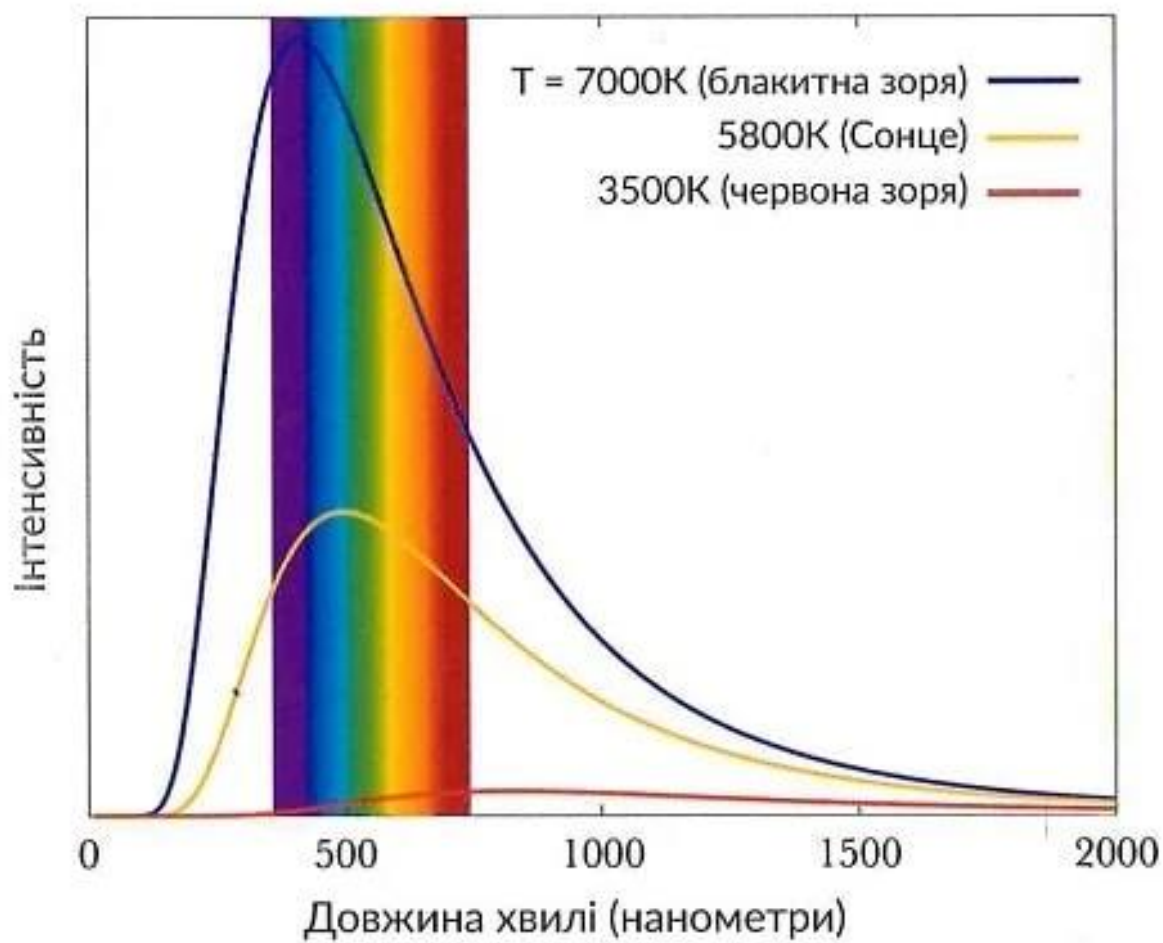


У гарвардській спектральній класифікації зірки класу С мають середню температуру поверхні 30 000 К і вище, а зірки класу М ближчі до 3 000 К

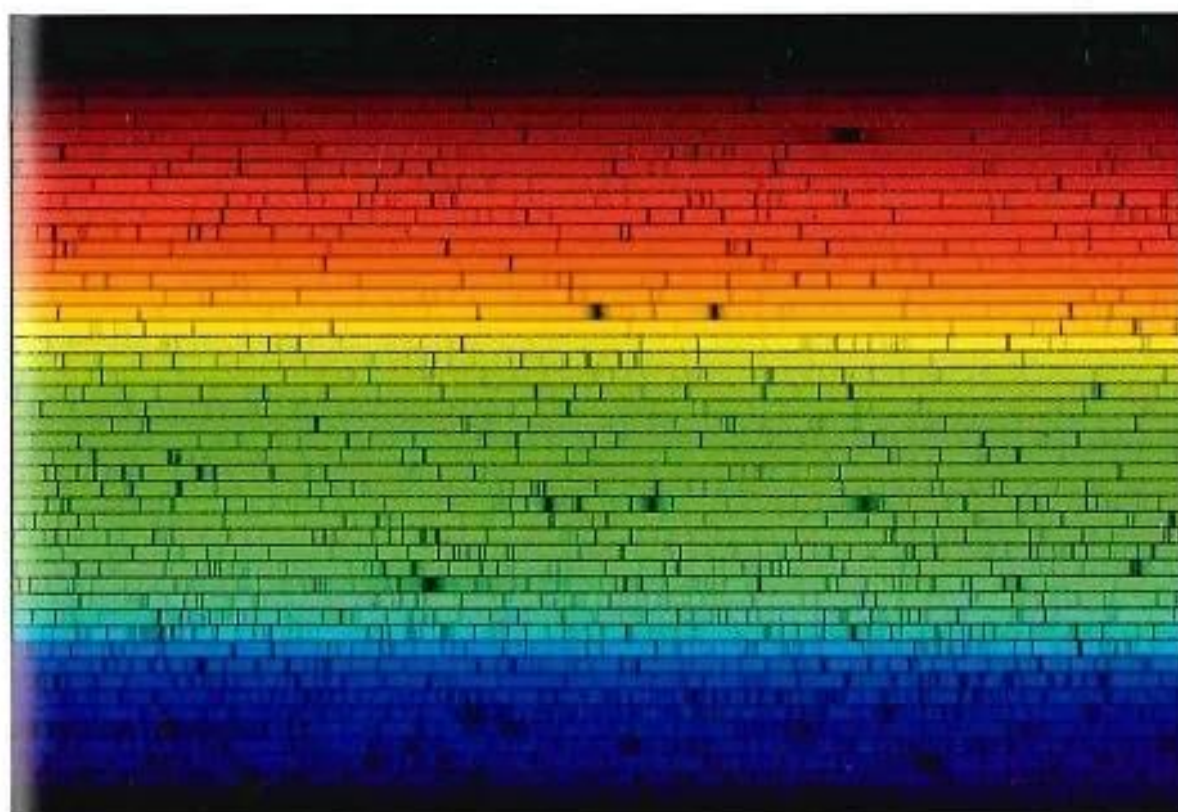




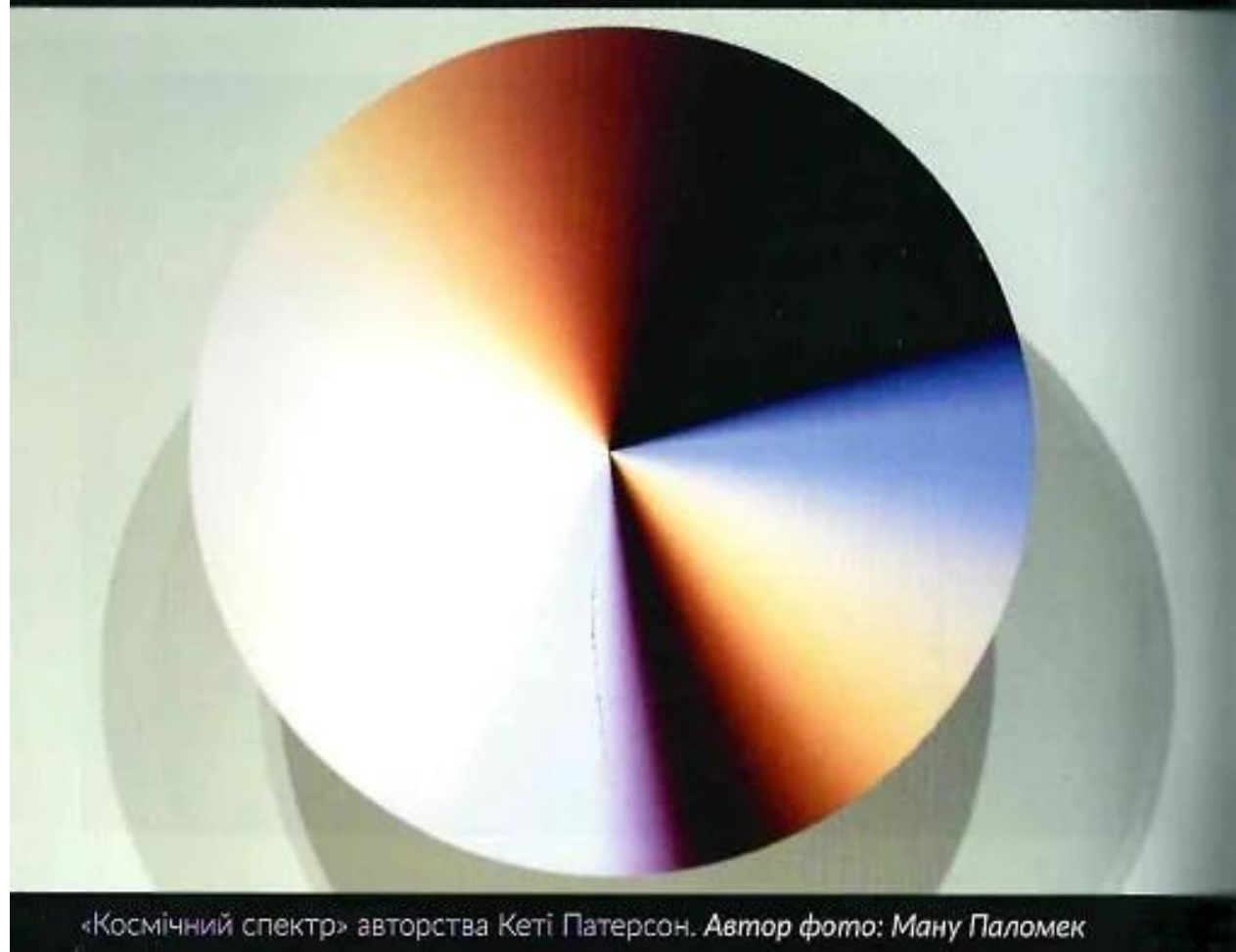
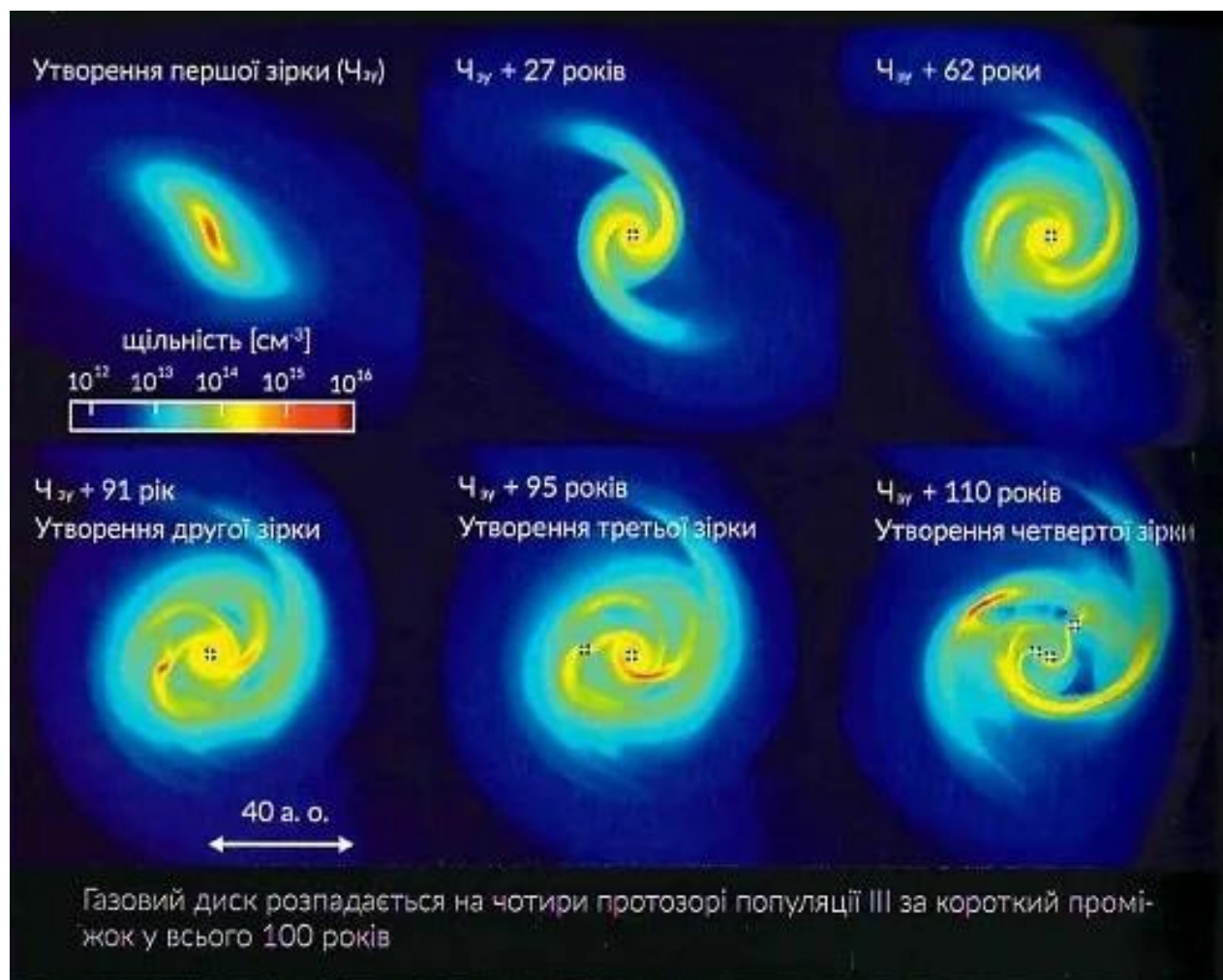
Пошук першої зірки в карликових галактиках (див. Розділ 8)



Приклади кривих випромінювання чорного тіла для зірок



Сонячний спектр на хвилях видимого світла



Сесілія Пейн-Гапошкіна



Пензіас та Вільсон дивляться на голмдейльську рупорну антену «Телефонних лабораторій Белла»

