

Автор висловлює велику подяку професору, д.ф.-м.н., Лозицькому В.Т.
за цінні поради та вказування на помилки під час написання цього тексту

Тема, на яку я тут зараз напишу, вже кілька разів виникала як і на популярних лекціях, так і в спілкуваннях між моїми колегами. Тому було вирішено написати невелику, але деталізовану відповідь на дане питання, а саме — *якого кольору Сонце?* Здається, “дитяче” питання, яке, позаяк, має як мінімум п’ять (!) відповідей — чотири часткові та одну універсальну, але складну. Якщо Вам ліньки приділити кілька хвилин — можете прочитати лише перший пункт. Там приведена відповідь, яка є прийнятною для усіх — і для вчених і для не спеціалістів. Цю відповідь можете розповідати і дітям і іншим дорослим.

1) (Погляд з космосу з орбіти Землі – далі просто «з орбіти») Перша відповідь — Сонце має білий колір. Це абсолютно вірна, універсальна відповідь. Інтенсивність випромінювання Сонця на будь-якій хвилі видимого діапазону (~400-600 нм) велика. При такій сильній яскравості, кольорові рецептори наших очей — три типи колбочок — будь повністю перенасичені сигналом. В фотографії цей ефект називається сатурацією (від англ. - saturation). Сатурація для наших очей буде повною на усіх видимих довжинах хвиль. Тому наш мозок не буде надавати нам кольорову картинку, а «покаже» сліпучо-білий диск. Космонавт на Міжнародній космічній станції на орбіті навколо Землі буде бачити Сонце саме таким. Відзначу, що якщо космонавта відправити далеко від Сонячної системи, то ефект сатурації зникне й наше світило буде виглядати так, як, наприклад найяскравіша зоря сузір’я Візничого — Капелла, а саме жовтенькою цяткою. Причину останнього “розберемо” нижче.

2) («з орбіти») Друга відповідь — Сонце має фіолетовий колір. Якщо Ви побудуєте спектральний розподіл випромінювання Сонця в одиницях довжин хвиль, наприклад, в нанометрах (див. Рис. 1), то побачите, що воно найяскравіше в синій-фіолетовій області. Виникає враження, що Сонце повинне бути синього кольору.

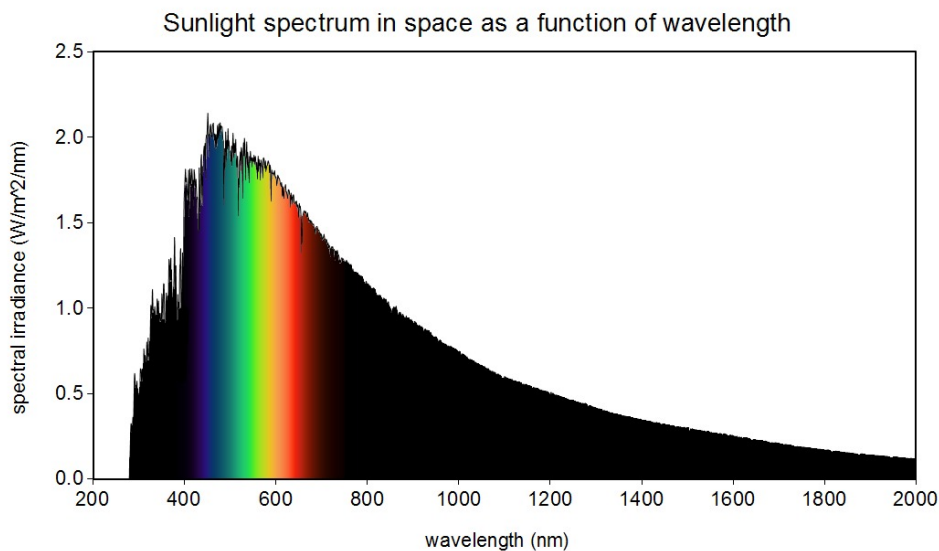


Рис. 1 Спектр Сонця з космосу як функція довжини хвилі. Public Domain Image, image source: Christopher S. Baird, data source: American Society for Testing and Materials Terrestrial Reference.

3) («з орбіти») Третя відповідь — Сонце має темно-червоний колір. Якщо Ви побудуєте спектральний розподіл випромінювання Сонця в одиницях частот, наприклад, в терагерцах (див. Рис. 2), то виявиться, що воно найяскравіше вже в інфрачервоній області! Тут вже виникає враження, що Сонце повинне бути темно-червоного або червоного кольору.

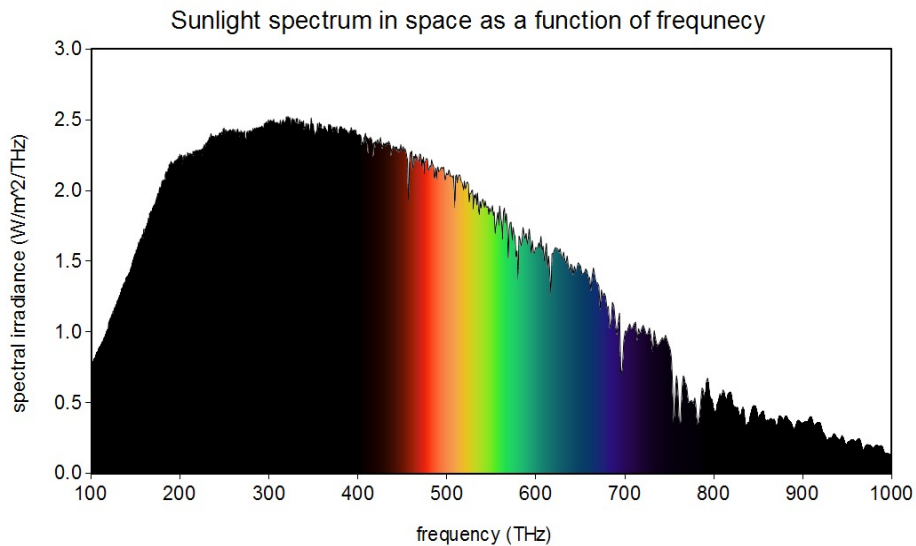


Рис. 2 Спектр Сонця з космосу як функція частоти. Public Domain Image, image source: Christopher S. Baird, data source: American Society for Testing and Materials Terrestrial Reference

4) («з орбіти») Четверта відповідь — Сонце має зелений колір. Цей варіант відповіді зумовлений тим, що його спектр, а точніше, неперервна плавна огинаюча спектру, гарно описується формулою випромінювання для “чорного тіла” або формулою Планка. Це формула, яка характеризує теплове випромінювання. Це також означає, що стан фотосфери Сонця близький до теплової рівноваги. Так от, згідно апроксимації формулою Планка, випромінювання з поверхні Сонця можна описати як випромінювання “чорного тіла” з температурою 5770° Кельвін, яка має назву “ефективної температури”. Максимум інтенсивності при цьому лежатиме в зеленому світлі (довжина хвилі 502 нм). Цікаво відмітити не очевидну для не спеціалістів річ, — якби Сонце було б гарячіше, його колір “посунувся” у синій бік, а холодніше — в червоний, а не навпаки.

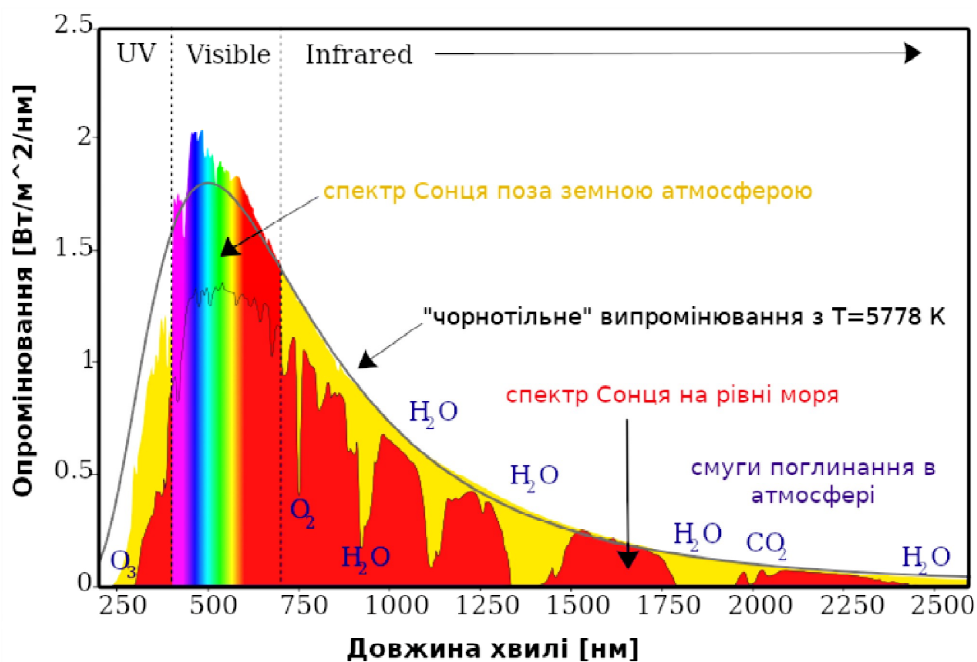


Рис. 3. Частина спектру випромінювання Сонця з космосу та Землі, його складові. Видимий діапазон спектру замальований відповідними кольорами

5) П'ята відповідь — Сонце має світло-жовтий колір (саме так, а не просто жовтий!). Тут я розділю пункт на два підпункти, тому що пояснення в кожному відрізняються.

а) («з орбіти») Уважно погляньмо на Рис. 3 — він зручніший для пояснення в даному підпункті. Проведіть кілька, 5-6 для простоти, уявних вертикальних ліній, які розділятимуть по найвищому рівні *видиму* частину спектру (область Visible) на малюнку. Уявили? Вийшло щось на кшталт гістограми зі стовпчиками. Тепер зверніть увагу на те, наскільки велику площу (!) матиме кожен (!) такий стовпчик. Можна помітити, що якщо розглянути сумарно ці стовпчики на коротких довжинах хвиль (фіолетовий, синій кольори), то їх площа буде трішки меншою за сумарну по відношенню до довших довжин хвиль (жовтий, червоний кольори) (на перший погляд може бути враження, що це не так, але яскравість Сонця в коротких хвилях насправді швидко спадає). Кольори зірок визначаються відношенням інтенсивностей випромінювання в двох або кількох областях (!) спектру. По науковому, це звучить, що колір зорі — т.зв. інтегральна характеристика випромінювання (з точки зору математики, обчислення інтегралу функції є отримання площі під графіком функції). Повернімося на три речення назад і згадаймо, що ми отримали сумарно трішки більшу площу для жовто-червоної частини спектру, аніж для синьої та фіолетової. А оскільки Сонце також сильно випромінює на середніх видимих хвилях (зелений колір), то результуючий колір для нашої зорі — Сонця, є світло-жовтим! Ось чому астрономи говорять, що Сонце це *жовтий* карлик. Існує навіть поняття «жовтого сонячного кольору», який світліший за жовтий. Його код в палітрі кольорів - #fff917.

б) (з поверхні Землі) Сонце має жовтий колір, або ж краще - жовтуватий відтінок, тому що це видимий (!) колір Сонця при погляді із Землі. З поверхні Землі! Причина проста — атмосфера. В нашій атмосфері, завдяки релеевському розсіюванню (кому цікаво, що це - look it up on Google:)), сині та фіолетові промені світла розсіюються сильніше аніж червоні. Коли Сонце в зеніті — в найвищій точці на горизонті (особливо влітку), між вашими очима та ним буде міститись найменша кількість повітря для поточної доби. Розсіяння блакитних променів мінімальне. Сонце виглядатиме сліпучо білим, адже спрацюватиме вже описаний ефект сатурації — насичення кольорових рецепторів наших очей. “Зайчики” від блискучих предметів, поверхонь сліпитимуть Вас, тому Ви захочете надягнути затемнені окуляри. Сонця виглядатиме білим – це можна зрозуміти з майже пласкої поведінки тонкої кривої спектру Сонця на рівні моря на Рис. 3 у видимому діапазоні. Коли ж Сонце хилиться до горизонту, кількість повітря між Вами та ним зростає, – зростає й частка розсіяної синьої частини світла, при чому дуже сильно [пурпурова (кут 40° над горизонтом) та червона (кут 20° над горизонтом) криві на Рис. 4]. Яскравість Сонця падає і Ваші очі можуть виділити певний відтінок його кольору. Сонце може бути жовтим, оранжевим та навіть червоним. Додаткову роль у кінцевому відтінку грають також рівні запиленості та вологості повітря.

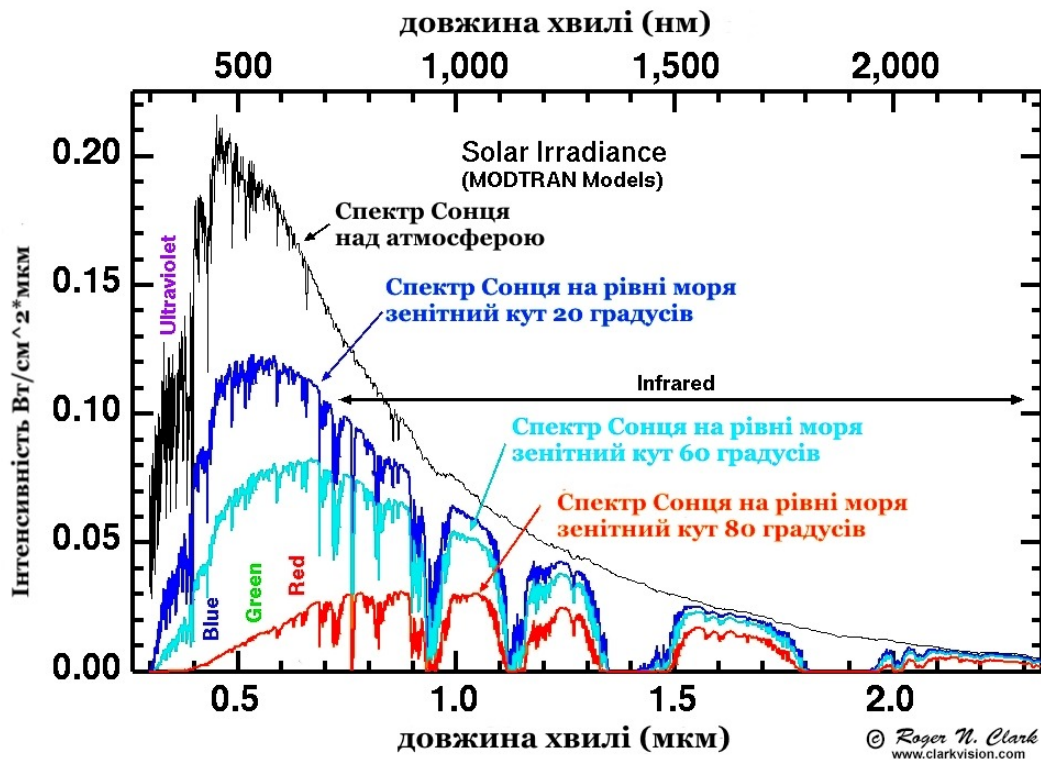


Рис.4 Спектр Сонця над атмосферою Землі, а також під нею: в zenіті та при двох інших кутах.

Таким чином, маємо аж 5 (по суті, навіть 6) відповідей (!) на запитання “Якого кольору Сонце?”. Яка ж з них правильна?... Якщо з повною науковою строгістю — то сумарно обидва підпункти відповіді №5. Як швидка відповідь дитині або дорослому, які не хочуть довгих пояснень — досить і першого варіанту.

Чому я не включив сюди жодну з відповідей №2-4? Причина в тому, що для відповіді №4 формула Планка має два вільних параметри — “ефективну температуру” та відповідну їй довжину хвилі. Таким чином, ми звертаємо увагу лише на “зелену” довжину хвилі, тобто розглядаємо випадок монохроматичного світла, вказуючи, що пік кривої відповідає довжині хвилі 502 нм. Та ж сама суть й для двох попередніх відповідей – робиться акцент лише на одну (!) довжину хвилі, й не розглядається увесь видимий діапазон хвиль. Ще раз – у відповідях № 2-4 – випромінювання тільки на одній довжині світла, а не частини спектру випромінювання.

Ось така ситуація з, на перший погляд, відповіддю на ніби тривіальне питання...:)

Суб’єктивно, — це потенційно чудовий матеріал для написання реферату, підготовки виступу учня в старшому класі на уроці фізики або астрономії.



Рис.5 Сонце під час заходу. Credits: Kirshelena/Shutterstock