

Променева швидкість. Принцип Доплера.

Променева швидкість зорі, тобто швидкість вздовж променя зору до Сонця або від Сонця, визначається з аналізу її спектра. *Доплерівське зміщення* – це ефект, відкритий Крістіаном Доплером, який застосував його до всіх хвильових рухів. Коли джерело хвиль і спостерігач наближаються або рухаються в протилежні сторони, то довжини хвиль змінюються. Зоряні спектральні лінії (довжини хвиль) любого елемента, найчастіше заліза, порівнюють з еталонним спектром. Якщо зоря рухається до нас, то ці довжини хвиль стають коротшими (*фіолетове зміщення*). Якщо зоря рухається від нас, ці довжини хвиль стають довгими (*червоне зміщення*).



Променева швидкість руху світила відносно спостерігача, згідно з принципом Доплера, обчислюється за формулою

$$v_r = \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda} \cdot c = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c,$$

де λ – довжина незміщеної спектральної лінії,
 λ' – довжина зміщеної спектральної лінії,
 $\Delta\lambda$ – доплерівське зміщення в спектрі світила,
 c – швидкість світла у вакуумі.

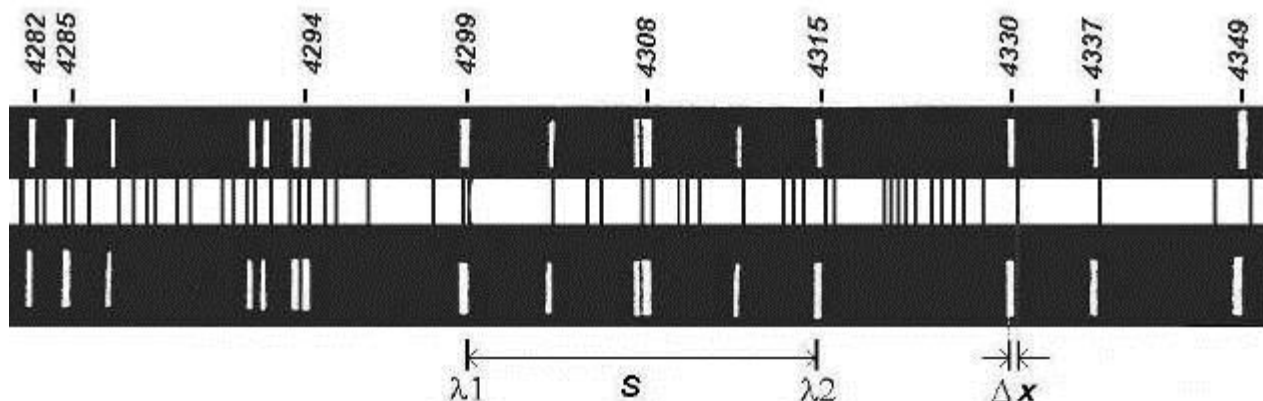
Додатне значення v_r відповідає віддаленню світила і спостерігача, а від'ємне – їх зближенню. Для визначення променевої швидкості до телескопа прикріплюють спектральний апарат (спектрограф) і на одну фотопластинку фотографують спектр світила і два спектра нерухомого лабораторного джерела світла з відомими спектральними лініями (наприклад, спектри водню, гелію, парів заліза), які називають спектрами порівняння. На фотографії спектри порівняння розміщують вище і нижче від спектра світила, що дає змогу швидко виявити в ньому зміщення ліній і виміряти в міліметрах їх зсув Δx відносно аналогічних ліній з відомою довжиною хвилі λ у спектрі порівняння. Але щоб обчислити зміщення ліній $\Delta\lambda$ необхідно знати масштаб фотографії (*дисперсію спектрограми*). Для цього у спектрі порівняння вимірюють (в міліметрах) відстань s між лініями з відомими довжинами хвиль λ_1 і λ_2 , виражених в ангстремах ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$) або

нанометрах ($1 \text{ нм} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ м}$). Тоді масштаб (дисперсія) спектрограми $\eta = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{s}$ буде

виражений в ангстремах на міліметр $\text{\AA}/\text{мм}$ (або нанометрах на міліметр $\text{нм}/\text{мм}$), а шукане зміщення $\Delta\lambda = \eta \cdot \Delta x$ в ангстремах (нанометрах). Після цього за формулою обчислюють швидкість світила відносно Землі.

Приклад

На малюнку подано зображення спектрограми зорі Арктур (в центрі) та лабораторні спектри порівняння заліза (вгорі та внизу). Над ними написано довжини хвиль в ангстремах ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$). Спектрограму було одержано 1 липня.



1. Укажіть напрям променевої швидкості зорі відносно Землі в указану дату.
2. Визначте дисперсію даної спектрограми, т.т. число ангстремів, що укладаються в 1 мм в масштабі спектрограми.
3. Виміряйте, скориставшись лупою (з точністю до 0,5 мм на око), зсув центра вибраної лінії у спектрі зорі відносно центра тих самих ліній порівняння. Помноживши розміри зсуву на дисперсію, визначте різницю зоряної та лабораторної довжин хвиль (доплерівське зміщення).
4. Визначте спостережувану довжину хвилі, додавши до лабораторної довжини значення доплерівського зміщення.

Скориставшись принципом Допплера, обчисліть променеву швидкість зорі відносно Землі. Використайте ще декілька ліній і за кінцевий результат візьміть середнє значення з одержаних швидкостей.

Розв'язання

1. Лінії зоряного спектра, які тотожні лініям у спектрі порівняння, зміщені в червоний бік. Отже, зоря Арктур 1 липня віддалялася від земного спостерігача.
2. Виберемо в спектрограмі ототожнені лінії: $\lambda_1 = 4315\text{A}$, $\lambda_2 = 4299\text{A}$.
Виміряємо міліметровою лінійкою відстань між ними: $s = 47\text{мм}$.

$$\text{Дисперсія спектрограми дорівнюватиме: } n = \frac{(\lambda_1 - \lambda_2)}{s} = \frac{(4315 - 4299)}{47} = \frac{16}{52} = 0,34 \text{ A/мм}.$$

3. Виміряємо відстань між положеннями лінії з довжиною хвилі $\lambda_1 = 4330\text{A}$ у спектрі порівняння й зорі. Вона виявляється рівною: $\Delta x = 1 \text{ мм}$. Обчислюємо доплерівське зміщення цієї лінії: $\Delta\lambda = \Delta x \cdot n = 0,34 \cdot 1 = 0,34\text{A}$.
4. Знаходимо променеву швидкість зорі Арктур відносно Землі 1 липня:

$$v = \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right) \cdot c = \left(\frac{0,34}{4330} \right) \cdot 300000 = 23,56 \text{ км/с}.$$

Виконати самостійно за наведеним вище прикладом

На малюнку подано зображення спектрограми зорі Арктур (в центрі) та лабораторні спектри порівняння заліза (вгорі і внизу). Над ними написано довжини хвиль в ангстремах ($1 \text{ A} = 10^{-10} \text{ м}$). Спектрограму було одержано 19 січня.

