

# Фізичні та атмосферні обмеження можливостей телескопів

## Атмосферні обмеження можливостей телескопів

У земній атмосфері шари однакової щільності та з однаковим коефіцієнтом заломлення зазвичай не розташовуються паралельно один одному, вони нестаціонарні, і тому межа між ними не може бути представлена навіть на невеликій площі у вигляді площини. Такі розриви безперервності оптичних властивостей атмосфери, на яких відбувається заломлення світлових хвиль (а також дифракція), виникають по поверхні, що нагадує море, що хвилюється, і такого ж вигляду, що хвилюється, набуває взагалі-то плоска світлова хвиля, яка приходить на об'єктив від зірки.

### Результатом цього будуть три ефекти:

- 1) Швидкі і повільні коливання зображення (з частотою від 1 до ~ 1000 Гц) у полі зору телескопа;
- 2) зміна кольору і блиску зірок – те, що незброєне око сприймає як мерехтіння (частота до ~ 2000 Гц);
- 3) кінцеві розміри диска зірки, що змінюються в часі і нерідко значно більші за розмір дифракційного диску зірки.

Ефекти 1 і 2 виникають високо в земній атмосфері, на висотах 6-8 км і більше. Такі ж ефекти спостерігаються і у віддалених земних вогнів, коли шлях світлового променя біля поверхні землі достатньо великий. Ефект 3 виникає в ближчих до інструмента атмосферних шарах, іноді в тих шарах, що безпосередньо прилягають до астрономічної башти, і навіть усередині труби, якщо вона, як це зазвичай буває у рефлекторів, відкрита. Джерело цього ефекту – в бурхливих турбулентних рухах земної атмосфери, що змінюються дуже швидко.

Саме сума по-різному відхилених хвиль, що падають на об'єктив, і призводить до збільшення розмірів фокальних зображень зірок. Відповідно до його походження такий диск зірки можна назвати турбулентним. Нехай його радіус дорівнює  $\tau''$ . Тоді в результаті накладення дифракційного (з радіусом  $\alpha''$ ) і турбулентного (з радіусом  $\tau''$ ) дисків радіус диска зірки, що спостерігається в телескоп, буде  $\alpha'' + \tau''$ . Як показують спостереження, величина  $\tau$  зростає зі збільшенням зенітної відстані спостережуваних об'єктів, причому наростання відбувається приблизно пропорційно  $\sec z$  (поки  $z$  не перевищить  $80^\circ$ ):

$$\tau_z'' = \tau_0'' \sec z \quad (1)$$

Якщо значення  $\alpha''$  велике, що має місце у малих телескопів, турбулентність відносно мало додає до розмірів видимого диска зірки, оскільки в нічний час величина  $\tau$  рідко перевищує  $1''$ , і то лише поблизу горизонту. У крупних же телескопів ситуація інша, оскільки у них значення  $\alpha''$  невелике, і тому  $\tau''$  зрівнюється з  $\alpha''$  або перевищує його.

## Фізичні обмеження можливостей телескопів

Коли плоска хвиля від нескінченно віддаленого джерела світла потрапляє на об'єктив (дзеркало) телескопа, на його краї виникають дифракційні явища, в результаті яких у фокусі об'єктива створюється вже не точкове зображення крапки, що світиться, а складна дифракційна картина.

Явище дифракції обмежує роздільну здатність телескопа. Дійсно, якщо кутова відстань  $\Delta$  між двома зірками менша за  $2\alpha$ , то їхні дифракційні диски частково накладатимуться один на одного. Застосування великого збільшення покаже таку ж картину, тільки у збільшеному вигляді. При якомусь  $\Delta$  два диски зблизяться настільки, що спостерігач не зможе визначити, одиночною чи подвійною є спостережувана ним зірка. Досвід показує, що якщо обидві зірки мають однаковий блиск, то при  $\Delta = 0.85\alpha$  їх розрізнення стає неможливим. Це настає при

$$\Delta'' = \frac{12}{D [\tilde{n}\tilde{i}]} , \quad (2)$$

а також при більшому  $\Delta$ , якщо блиск зірок неоднаковий (тут  $D$  - діаметр телескопа).

Для того щоб обмежена роздільна здатність ока (її значення близьке до  $1'$ ) не була перепорою для розділення в телескоп тісних подвійних пар зірок, необхідно, щоб величина  $\Delta''$  в (2) після використання збільшення була не менше за  $1' = 60''$ . Цим визначається роздільне збільшення

$$G_r = 60 : \frac{12}{D} = 5D [\tilde{n}\tilde{i}] = R [\tilde{i}\tilde{i}] , \quad (3)$$

де  $R$  - радіус телескопа.

Коли телескоп використовується для розгляду малих (у кутовій мірі) деталей на небесних об'єктах або для спостережень подвійних зірок, слід використовувати збільшення, яке не менше за роздільне, краще всього 3-4  $G_r$ . При більших збільшеннях буде виразно видно дифракційну картину, що не дасть ніякої користі для вивчення небесних об'єктів. Крім того, стане відчутним ослаблення поверхневої яскравості дифракційних дисків – і слабкі зірки перестануть бути видимими.

Питання про роздільну силу виникає особливо актуальне при спостереженні планет. Дифракція і турбулентність збільшують розміри зображення дрібних деталей на поверхні планети, замивають їх, створюють уявні крупні деталі та збільшують видимі розміри планетних дисків.

(За книгою Д. Я. Мартинов Курс практичної астрофізики – М., 1977)

## Додаток

### Атмосферна турбулентність