

РОЗДІЛ 3. ЕЛЕМЕНТИ ПРАКТИЧНОЇ АСТРОНОМІЇ

ЛЕКЦІЯ №13. ДОВЖИНА ДУГИ ЗЕМНОГО МЕРИДІАНА. ФОРМА І РОЗМІРИ ЗЕМЛІ

Ключові слова: метод триангуляції, геодезичні знаки, геодезичні сигнали.

Уявлення про те, що Земля кругла, висловив ще Піфагор більш ніж 500 р. до н. е. Арістотель десь через 160 років після нього писав: «...Математики, які обчислювали коло Землі, вважають, що воно дорівнює приблизно 400 тисячам стадій...». Стадія — це одиниця довжини, яку використовували в Давній Греції та Єгипті, вона дорівнює відстані, що її проходить людина за проміжок часу, поки над горизонтом не з'являється увесь диск Сонця (тобто за близько 2 хв.). За одним із варіантів, 1 стадія = 157,5 м. У цьому випадку довжина повного кола Землі за Арістотелем дорівнювала б 63 000 км, а радіус Землі $R_{\oplus}$ — 10 032 км.

Точніші розміри Землі отримав давньогрецький математик і астроном Ератосфен (близько 276—194 рр. до н. е.), за яким довжина кола Землі мала б становити 250 000 стадій і $R_{\oplus} = 6290$ км (при довжині стадії 157,5 м). Метод таких вимірювань очевидний (рис. 3.4). Нехай для спостерігача у пункті A певна зоря переходить через зеніт, а якщо спостерігач зміститься уздовж меридіана на відстань d , — на зенітній відстані z . Очевидно, якби спостерігач уявно описав навколо центра Землі дугу 360° , тобто пройшов шлях $2\pi R_{\oplus}$, то все було б, як на початку. Звідси складаємо пропорцію: довжина земного кола $2\pi R_{\oplus}$ у стільки разів більша від дуги d , у скільки повний кут 360° перевищує кут z . Обчислюємо, що радіус Землі:

$$R_{\oplus} = \frac{180^\circ}{\pi z} d. \quad (3.4)$$

На практиці радіус Землі визначають на різних географічних широтах, переходячи від широти φ_1 до φ_2 , таким чином, $z = \varphi_1 - \varphi_2$. Якби при різних значеннях φ_i отримували однакове $R_{\oplus}$, то звідси випливало б, що Земля має форму кулі. Насправді це не так. Щоб уточнити форму Зем-

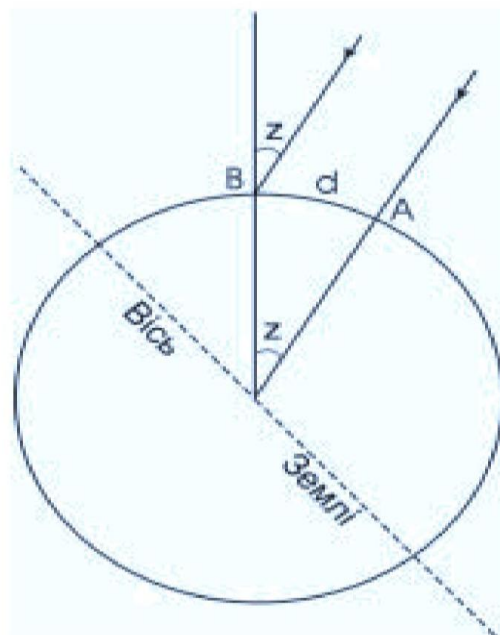


Рис. 3.4. Визначення радіуса Землі за допомогою вимірювання зенітної відстані світила з двох пунктів

лі, провели високоточні вимірювання довжини дуг земних меридіанів на основі методу тріангуляції (оскільки безпосереднє вимірювання значних лінійних відстаней уздовж географічного меридіана неможливе з огляду на природні перешкоди — річки, болота, гори тощо). У кінцевих пунктах O_1 та O_2 дуги, довжину якої треба визначити (рис. 3.5), і по обидва боки від неї у пунктах $A, B, C, \dots$ встановлюють спеціальні вишки — *геодезичні сигнали*. Вони є вершинами утвореної на місцевості сітки трикутників. Встановлюють їх так, щоб з кожної було видно декілька інших. Якщо одна із сторін трикутника AO_2 , що називається *базисом тріангуляційної сітки*, виміряна безпосередньо з високою точністю, і так само точно виміряно кути між напрямками на сусідні вишки, то за допомогою формул тригонометрії обчислюють сторони трикутника і довжину d шуканої дуги меридіана.

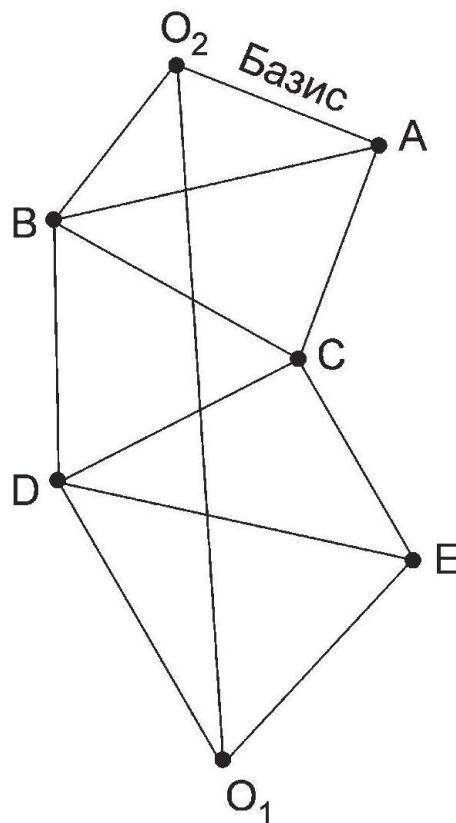


Рис. 3.5. Знаходження довжини O_1O_2 дуги меридіана методом тріангуляції

До 60-х років ХХ ст. максимальні розміри базису не перевищували 6–10 км. Зараз завдяки застосуванню методів радіо- і світлолокації їх збільшили до 30 км і похибка вимірювання не перевищує 2 мм на кожні 10 км довжини.

Унаслідок проведених вимірів виявлено, що довжина 1° дуги меридіана на екваторі дорівнює 110,576 км, на широті 45° — 111,143 км і на по-

люсі — 111,696 км. З'ясовано, що форма Землі подібна до двовісного еліпсоїда. Оскільки різниця між значеннями екваторіального і полярного радіусів невелика, то говорять звичайно про земний сфероїд. Для нього прийнято такі розміри:

екваторіальний радіус $R_{\text{е},\oplus} = 6378,137$ км;

полярний радіус $R_{\text{п},\oplus} = 6356,752$ км;

різниця їхніх значень $R_{\text{е},\oplus} - R_{\text{п},\oplus} = 21,385$ км;

сплюснутість $(R_{\text{е},\oplus} - R_{\text{п},\oplus}) : R_{\text{е}} = 1 : 298,257$.

Прийнято, що середній радіус Землі $R_{\oplus} = 6371$ км, середнє значення 1° дуги земного меридіана — 111,2 км, довжина кола земного екватора — 40 075 км, а земного меридіана — 40 008 км.

Зауважимо, що на рівній земній поверхні видимий горизонт є малим колом, по якому конус, утворений променями зору спостерігача, дотикається земної поверхні. Як це видно з рис. 3.6, на рівній місцевості видимий горизонт AB розташований нижче від математичного горизонту спостерігача EOD . З трикутника OBC неважко (за теоремою Піфагора) отримати наближену формулу для оцінки відстані до видимого горизонту d при заданій висоті h , на якій знаходиться спостерігач:

$$d \approx \sqrt{2Rh} \approx 3,6\sqrt{h}. \quad (3.5)$$

Завдяки рефракції можна бачити далі, а саме: $d \approx 3,8\sqrt{h}$.

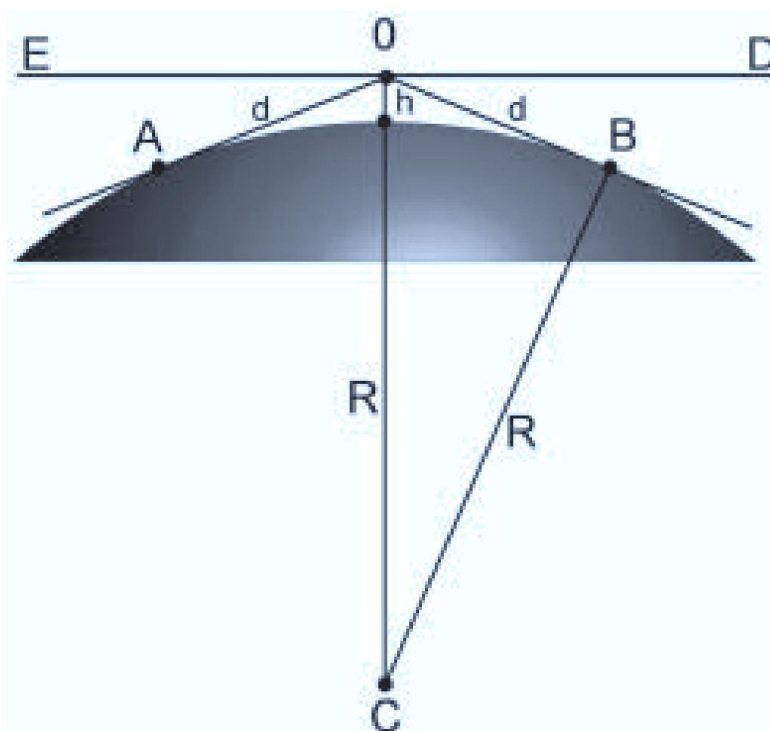


Рис. 3.6. Визначення положення видимого горизонту

Тут h виміряно в метрах, а d — у кілометрах. При $h = 2, 20$ і 200 м відповідно $d = 5, 17$ і 54 км.

І, нарешті, спостерігач повинен пам'ятати, що кутові висоти світил над горизонтом, якщо він оцінив їх на око, не є справжніми. Це пов'язане з особливостями людського ока, неоднаковістю напруження м'язів очей при огляді предметів на різних висотах. Позірні і справжні кутові висоти наведені в наступній таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Позірні і справжні кутові висоти, у градусах

Позірні висоти		Справжні висоти	Позірні висоти		Справжні висоти
удень	уночі		удень	уночі	
13	10	5	60	50	35
25	18	10	67	60	45
34	26	15	74	68	55
42	33	20	79	74	65
49	39	25	84	81	75
55	45	30	88	87	85

З тієї ж причини кутові розміри Сонця і Місяця поблизу горизонту здаються у два-три рази більшими, ніж при їхньому найвищому положенні над горизонтом.

