

### 03. СФЕРИЧНА АСТРОНОМІЯ

#### ПРАКТИЧНІ ЗАДАЧІ СФЕРИЧНОЇ АСТРОНОМІЇ

##### 3.1. Небесна сфера

Розглянемо точку спостереження на поверхні Землі на північній широті  $\varphi$ . Спостерігачеві здається, що всі небесні об'єкти розташовані на поверхні *небесної сфери* (НС) – *уявної сфери довільного радіуса з центром в точці спостереження*.

Положення об'єкту на небесній сфері визначається дуговими (кутовими) координатами. Для відліку цих координат обирають опорні напрямки та перпендикулярні до них опорні площини, що перетинають небесну сферу по дугах, вздовж яких і ведеться відлік небесних координат в дугових чи кутових одиницях.

Природнім опорним напрямком є напрямок до центра Землі вздовж її радіуса, який на практиці визначають за допомогою виска і називають *прямовисною лінією*. Прямовисна лінія перетинає небесну сферу в верхній і нижній точках  $Z$  і  $Z'$ , які відповідно називаються *зеніт та надир*.

Площина перпендикулярна до прямовисної лінії називається *горизонтальною площиною*. Вона перетинає небесну сферу по колу, що називається *горизонтом*.

Іншим опорним напрямком є *вісь світу* – пряма паралельна осі обертання Землі (наближено визначається як напрям на Полярну зірку). В зв'язку з обертанням Землі разом зі спостерігачем, останньому здається, що всі світила кружляють навколо напрямку земної осі, описуючи за добу кола, в центрі яких (з відхиленням 44 хвилини) знаходиться Полярна зірка. Таким чином Полярна зірка практично знаходиться на осі обертання Землі.

Вісь світу перетинає небесну сферу в уявних точках  $P$  і  $P'$ , які відповідно називаються *Північним та Південним* полюсами світу.

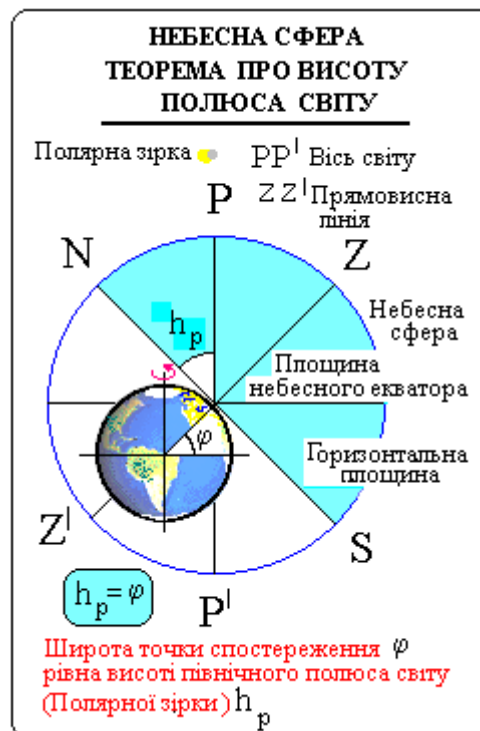
Площина перпендикулярна осі світу перетинає небесну сферу по колу, що називається *небесним екватором*. Ясно, що площини небесного та земного екваторів паралельні.

### 3.2. Теорема про висоту полюса світу

Кут між екваторіальною площиною та Земним радіусом проведеним в точку спостереження відповідає географічній широті  $\varphi$  даної точки. Кут між напрямком на полюс світу (наближено на Полярну зірку) і горизонтальною площиною є висотою  $h_p$  полюса світу над горизонтом. Оскільки ці кути мають взаємоперпендикулярні сторони (див. мал.), вони є рівними

$$h_p = \varphi$$

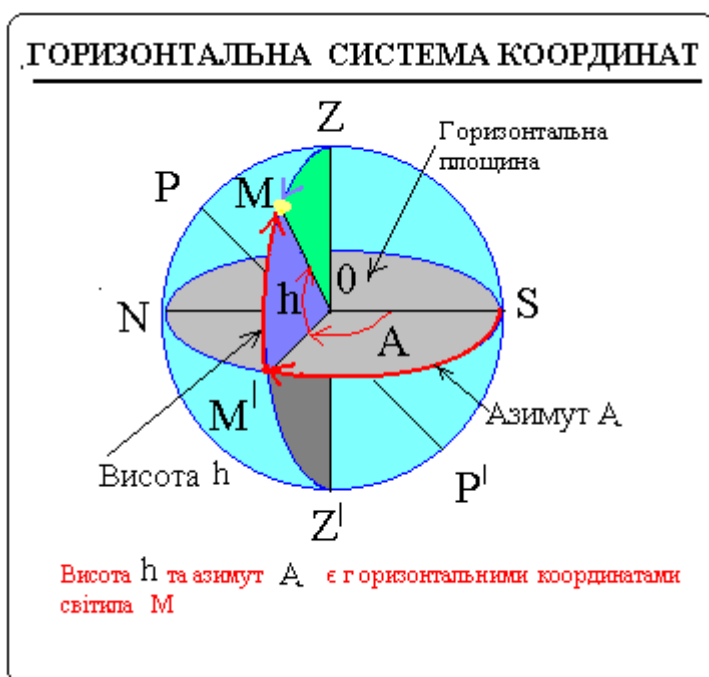
Таким чином висота полюса світу над горизонтом рівна широті точки спостереження (теорема про висоту полюса світу).



### 3.3. Горизонтальна система координат

Назва системи вказує на те, що основною лінією відліку в ній є горизонт.

Розглянемо небесну сферу. Коло PZP'Z' називають небесним меридіаном.



Небесний меридіан перетинає горизонт в точках N та S. Перша з них, яка є найближчою до північного полюса світу, називається *точкою півночі*, інша – *точкою півдня*.

Перша координата в цій системі – висота (h) відлічується від горизонту до світила по дузі кола, що проходить через надир, зорю, зеніт (по вертикалу зорі) і вимірюється центральним кутом

$\text{MOM}'$ , або дугою цього кута в градусах, чи в радіанах, і вважається додатною в північній частині небесної сфери і від'ємною – в південній ( $90^0 \leq h \leq 90^0$ ).

Замість висоти часто користуються *зенітною відстанню*, яка відлічується від зеніту до зорі по дузі зеніт – зоря – надир і завжди є позитивною.

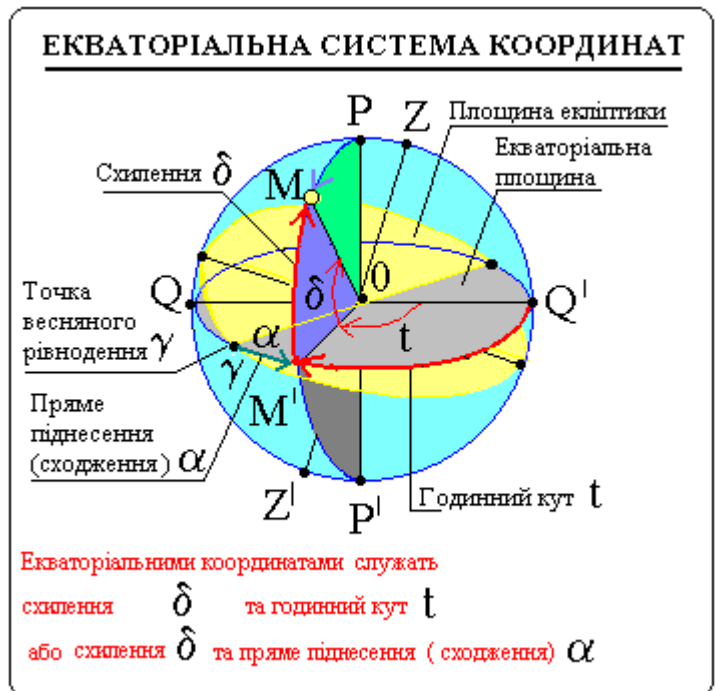
*Друга координата – азимут (A)* відлічується вздовж горизонту від точки півдня в західному напрямку, або ж за годинниковою стрілкою чи за напрямком видимого обертання небесної сфери до точки перетину вертикала зорі з горизонтом і вимірюється центральним кутом  $\text{SOM}'$  ( $0^0 \leq A \leq 360^0$ ).

### 3.4. Екваторіальна система координат

Як і в попередньому випадку назва системи вказує на те, що основною *лінією відліку* в ній є *небесний екватор*.

Першою координатою в цій системі є *схилення*  $\delta$ , яке відлічується від небесного екватора до світила по дузі кола, що проходить через полюси світу і зорю (кола схилення) і вимірюється центральним кутом  $\text{MOM}'$ , або дугою цього кута в градусах, чи в радіанах і вважається додатним в північній півсфері та від'ємним в південній ( $-90^0 \leq \delta \leq 90^0$ ).

Другою координатою може служити *годинний кут*  $t$ , що відлічується від південної частини небесного меридіана (точки  $Q'$ ) в західному напрямку (за годинниковою стрілкою чи за напрямком видимого обертання небесної сфери) до точки перетину кола схилення зорі з небесним екватором і вимірюється центральним кутом  $Q'OM'$ , або дугою цього кута. Оскільки ця координата рівномірно змінюється на протязі доби, зручніше взяти за *другу координату* *пряме сходження* (*пряме піднесення*),



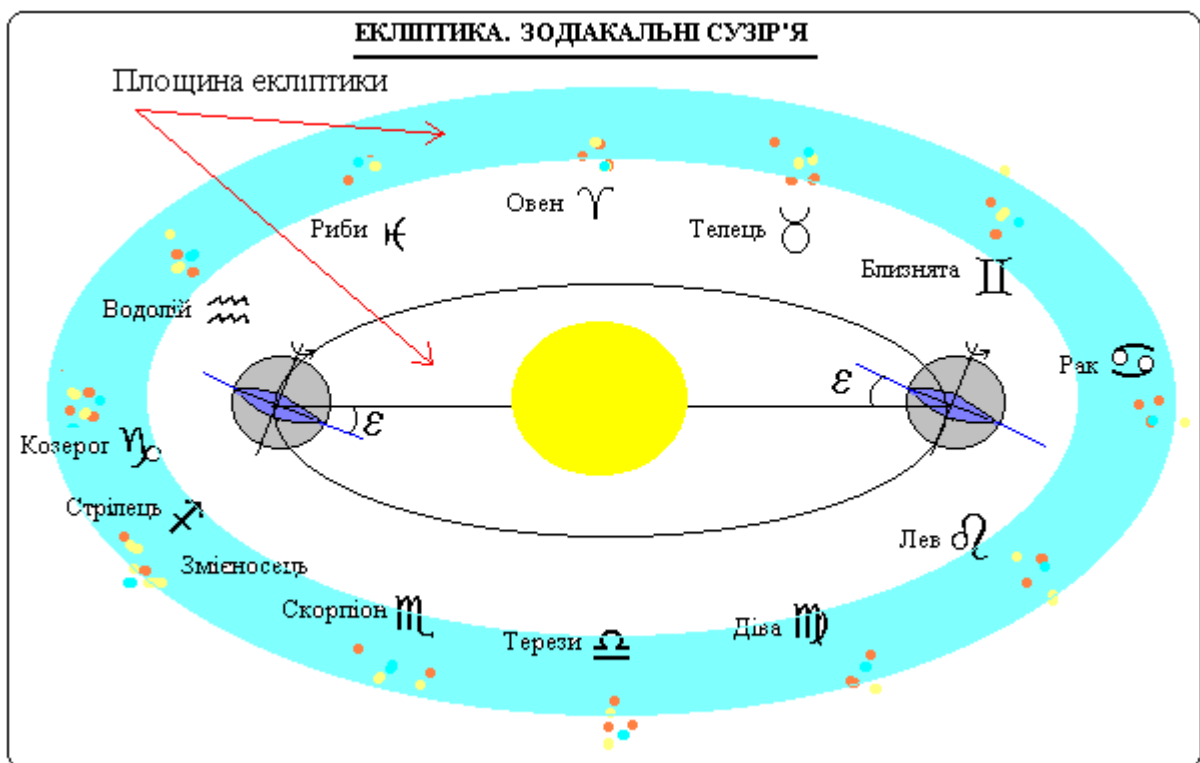
яке відлічується проти годинникової стрілки (проти напрямку обертання небесної сфери) вздовж небесного екватора від фіксованої точки небесного екватора  $\gamma$  – точки «Овен», яка міститься серед сузір'їв і тому обертається разом з небесною сферою. Точка «Овен» –  $\gamma$  має позначення (не букву!) і назву сузір'я, в якому колись перебувало Сонце в день весняного рівнодення (20-21 березня). Позначення збереглося з давніх часів, хоча в наші часи Сонце в цей день перебуває в сузір'ї Риб.

Траєкторія видимого руху Сонця на протязі року називається *екліптикою*. Точка  $\gamma$  є однією з двох точок перетину екліптики з небесним екватором. Зрозуміло, що розташування точки весняного рівнодення на тлі сузір'їв залежить від орієнтації в космічному просторі земної осі. Але з'ясувалось, що земна вісь не зберігає свого напрямку, описуючи на протязі 26 000 років коло, подібне до того кола, по якому рухається вісь дзиги після горизонтального поштовху. Такий рух носить назву *прецесії*.

### 3.5. Видимий рух Сонця. Екліптика

В зв'язку з обертанням Землі навколо Сонця (проти годинникової стрілки, якщо спостерігати з Полярної зірки) земному спостерігачеві здається, що Сонце рухається серед сузір'їв по видимій траєкторії (екліптиці), здійснюючи за рік уявне коло на тлі сузір'їв, які називаються зодіакальними.

Видимий рух Сонця можна помітити відмічаючи положення сузір'їв в однаковий час після заходу Сонця. При цьому стає помітним, що сузір'я посуваються зі сходу на захід. Причина в тому, що напрямки осевого і орбітального обертання Землі співпадають. При спостереженні з північного полюсу світу обертання відбуваються проти годинникової стрілки. Орбітальна кутова швидкість практично вдвічі менша осевої.



## Плющай І.І. Астрономія

Тому Сонце рухається назустріч добовому рухові сузір'їв, і положення сузір'їв на дану годину доби за місяць змінюється приблизно, як за дві години.

До зодіаку традиційно відносять 12 сузір'їв, на тлі яких перебуває Сонце помісячно, починаючи з січня: Козеріг, Водолій, Риби, Овен, Телець, Близнюки, Рак, Лев, Діва, Терези, Скорпіон, Стрілець.

Межі сузір'їв в різні часи визначались по-різному. Востаннє їх змінено на конгресі Міжнародного Астрономічного союзу в 1922 року, коли замість 108 сузір'їв було визначено 88. При цьому, зокрема, з'ясувалось, що зодіакальних сузір'їв насправді 13. До попереднього переліку слід додати сузір'я Змієносець, яке знаходиться між сузір'ями Стрільця і Скорпіона.

Умовність границь сузір'їв систематично ставила і ставить астрологів в становище шахраїв, з якого вони так і не можуть виплутатись, незважаючи на різноманітні вигадки.

Слово екліптика походить від давньогрецького  $\acute{\epsilon}\kappa\lambda\epsilon\iota\phi\iota\varsigma$  (еклейфіс) – затемнення.

Площина екліптики нахилена до площини земного екватора під кутом  $23^{\circ}27'08''{,}26$  (на 1900 р.). Зрозуміло, що цей кут є кутом нахилу площини земного екватора до площини земної орбіти. З розгляду екліптики видно, що найбільше схилення Сонце має в день літнього сонцестояння 22 червня. Положення Сонця на небесній сфері позначається знаком сузір'я Рака, в якому раніше перебувало Сонце на вказану дату (в наш час ця точка перебуває в сузір'ї Близнюків). Зміна розташування Сонця серед сузір'їв пояснюється прецесією земної осі. Приблизно через кожні 2000 років місцезнаходження Сонця на певну дату зміщується в сусіднє сузір'я в послідовності протилежній до річної. Максимальне від'ємне схилення досягається в день зимового сонцестояння 22 грудня, що відповідає положенню Сонця в сузір'ї Стрільця (колись Козерога).

Екліптика перетинає небесний екватор в двох точках весняного та осіннього рівнодення, що відповідає положенню Сонця 21 березня в сузір'ї Риб (колись Овен) та 23 вересня в сузір'ї Діви (колись Терези). Таким чином 22 червня маємо найдовший день, 22 грудня – найдовшу ніч, а 21 березня та 23 вересня тривалість дня та ночі однакова (весняне та осіннє рівнодення).

Цікаво, що зимову половину екліптики Сонце проходить за 179 діб, літню – за 186 діб. Таким чином швидкість руху Сонця по екліптиці є змінною.

Схилення Сонця  $\delta_0$  змінюється щодоби приблизно на  $0,4^{\circ}$  в перший місяць до і після рівнодення, на  $0,3^{\circ}$  в другий місяць до і після рівнодення, і на  $0,1^{\circ}$  в перший місяць до і після сонцестояння.

Пряме сходження Сонця  $\alpha_0$  змінюється приблизно на 4 хв. на добу.

### 3.6. Вимірювання часу

Час вимірюється кутом повороту Землі навколо своєї осі, який рівний кутові повороту небесної сфери. Оскільки 1 добі (24 годинам, 1440 хвилинам) відповідає кут  $360^{\circ}$ , то 1 годині відповідають  $15^{\circ}$  ( $360^{\circ} : 24\text{год.} = 15 \text{ град. / год}$ ), 1 градусу повороту відповідають 4 хвилини ( $1440 \text{ хв.} : 360^{\circ} = 4\text{хв. / град}$ ).

Кут повороту небесної сфери можна визначати за зорями та за Сонцем, і в залежності від способу вимірювання та відліку цього кута розрізняють *зоряний та сонячний час*.

1. *Зоряний час ( S )* вимірюється годинним кутом точки весняного рівнодення.

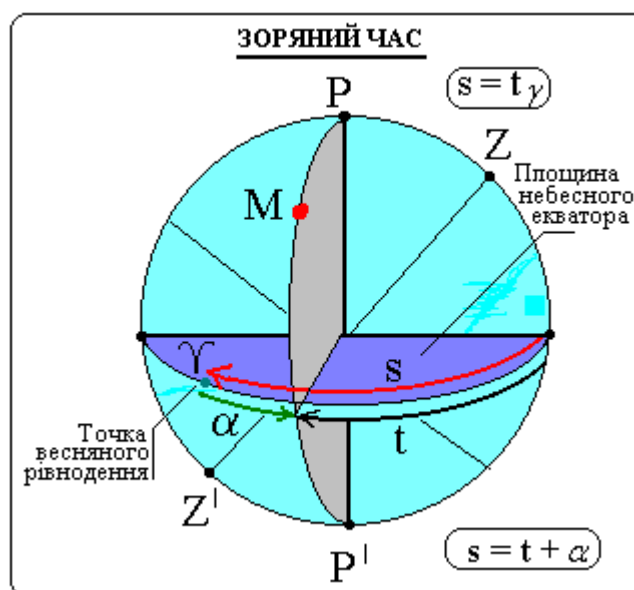
$$s = t_{\gamma}$$

Годинний кут та пряме сходження будь-якої зорі в довільний момент зв'язані очевидним співвідношенням (див. мал.).

$$s = t + \alpha$$

В момент верхнього проходження зорею небесного меридіана (верхньої кульмінації)  $t=0$ , тому *зоряний час рівний прямому сходженню зорі у верхній кульмінації*

$$s = \alpha_0.$$



2. *Сонячний час (Т)* вимірюється кутом повороту Сонця з моменту нижньої кульмінації центра сонячного диска, тобто сонячний час дорівнює годинному кутові Сонця збільшеному на 12 годин

$$T = t_0 + 12 \text{ ( год. )}.$$

Внаслідок нерівномірного руху Сонця по екліптиці сонячний час приходится фактично вимірювати за положенням уявної точки – так званого «середнього Сонця»

Очевидно, що в день осіннього рівнодення (23 вересня), коли Сонце знаходиться на небесному екваторі в точці віддаленій на 12 год. від точки весняного рівнодення, початок сонячної і зоряної доби співпадають. Для цієї дати  $T = s$ . Внаслідок обертання Землі навколо Сонця, щодоби Сонце зміщується проти годинникової стрілки по небесній сфері на  $3\text{хв.}56\text{с}$  ( $1440\text{хв.} : 365,2422 = 3\text{хв.}56,5554\text{с}$ ), що приводить до зростання сонячного часу.

Таким чином зв'язок сонячного і зоряного часу можна подати формулою

$$T - s = k\tau,$$

де  $\tau \approx 4$  к хв. і  $k$  – число діб, що пройшли після осіннього рівнодення.

Зрозуміло, що момент верхньої кульмінації Сонця визначає сонячний полудень (12 годин). З цього випливає можливість використання сонячного годинника, в якому найкоротша тінь вертикального стрижня (гномона) відмічає полудень. При цьому момент спостереження полудня однаковий на всьому меридіані і залежить лише від географічної довготи точки спостереження.

Сонячний час даного меридіана називається *місцевим*.

Місцевий час нульового меридіана називають *світовим, або всесвітнім* ( $T_0$ ).

Існує очевидний зв'язок між довготою ( $\lambda$ ), місцевим часом даного меридіана ( $T_\lambda$ ) та всесвітнім часом

$$T_\lambda - T_0 = \lambda.$$

Оскільки жити за місцевим часом, який залежить від географічної довготи, вкрай незручно, в 1878 році канадський інженер Сандорф Флемінг (1827-1919) запропонував поділити територію Землі на 24 годинні пояси (від нульового до 23 в східному напрямку) по  $15^\circ$ , так що центром нульового поясу є нульовий меридіан.

В межах поясу час вважається однаковим рівним часу обраного пункту.

Угода про поясний час була прийнята в 1884 році на міжнародній конференції 26 держав у Вашингтоні. На території Радянського Союзу ця угода набула чинності за декретом РНК РРФСР від 1 квітня 1919 року підписаним Леніним. З метою раціонального використання світлої частини доби декретом РНК в 1930 годинники було переведено на годину вперед (декретний час). З 1990 року останній декрет на території України скасовано. Проте, як і в інших країнах, на Україні щороку в останню неділю березня переводом годинникової стрілки на годину вперед вводиться *літній час*, який відмінюється в останню неділю жовтня.

Територія України знаходиться в другому годинному поясі центром, якого є столиця Київ (цікаве співпадіння!) і наші годинники, які йдуть за київським часом, взимку показують час другого поясу, влітку на годину більший.

Важливим наслідком введення поясного часу є введення *лінії зміни дати*. Річ в тому, що, рухаючись з деякого пункту на захід, ми повинні через кожні  $15^\circ$  довготи зменшувати покази годинника на одну годину, і, при поверненні в початкову точку, отримати зменшення на 24 години, тобто зменшити календарну дату на добу. Таким чином, матимемо в одній точці дві календарні дати! Уникнути такої плутанини можна лише введенням границі зміни дати. Цю границю можна вибрати довільно, проте, з міркувань

зручності, такою границею був обраний  $180^0$  меридіан. Лінія зміни дати відхиляється від нульового меридіана, огинаючи населені області, з тим, щоб якнаймога менше людей, мали необхідність перетинати цю лінію та змінювати дату. Таким чином, корабель, чи літак, перетинаючи цю лінію на схід, повертається в попередню дату. Рухаючись в зворотному напрямку, мандрівники мають збільшити календарну дату на добу.

### 3.7. Визначення широти місцевості

#### 1. Визначення широти місцевості за висотою полюса світу .

Застосовуючи цей спосіб в північній півкулі, використовують те, що Північний полюс світу знаходиться поблизу Полярної зірки (відхилення близько  $1^0$ ), висоту якої над горизонтом можна виміряти і отримати широту точки спостереження з точністю до  $1^0$ .

В південній півкулі зірки подібної Полярній немає, і застосовувати цей спосіб складніше, так як положення полюса світу доводиться шукати, як точку перетину напрямів, що сполучає опорні зірки.

#### 2. Визначення широти місцевості за висотою світила в момент кульмінації.

В зв'язку з обертанням Землі навколо своєї осі спостерігається добове обертання світил навколо полюса світу.

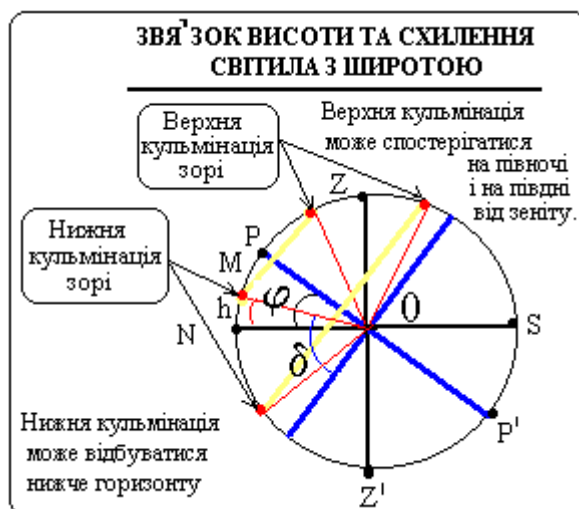
**Момент кульмінації** – це момент проходження світила через небесний меридіан .На протязі доби світило проходить положення верхньої та нижньої кульмінацій.

Легко помітити, що верхня кульмінація може спостерігатись як на північ від зеніту, так і на південь.

Якщо нижня кульмінація зорі спостерігається нижче горизонту, то зоря належить до тих, що заходять.

Вимірюючи висоту та схилення світила в момент кульмінації, можна обрахувати широту точки спостереження.

В прикладі на мал. для нижньої та верхньої кульмінації зорі на півночі від зеніту справедливе співвідношення



$$\varphi = 90^0 - (\delta - h) = 90 + h - \delta$$



*3. Визначення довготи місцевості*

Для визначення довготи місцевості, достатньо визначити різницю місцевого часу – часу даного меридіана  $T_\lambda$ , та часу нульового меридіана.

$$T_\lambda - T_0 = \lambda$$