

Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

Activitat 3: Distància a una estrella. Mesura de la paral·laxi estel·lar

Fonaments:

Determinar la distància a una estrella no és una tasca senzilla. Una de les formes que tenen els astrònoms per fer-ho és mesurar la *paral·laxi* de l'estrella.

Si observem des de diferents llocs un objecte proper, semblarà que es mogui respecte dels objectes més llunyans. La manera més fàcil de veure aquest efecte és aixecar el polze amb el braç estès davant dels nostres ulls i observar-lo alternativament amb l'ull dret i l'ull esquerre. El polze es mourà respecte dels objectes més llunyans situats darrera seu.

En el cas de les estrelles el moviment de translació de la Terra al voltant del Sol permet la seva observació des de llocs diferents. Això comporta un moviment aparent de les estrelles reflex del moviment de la Terra. El resultat és que l'estrella sembla descriure una petita el·lipse sobre el fons del cel (vegeu Figura 1). L'angle π s'anomena paral·laxi estel·lar, i és la quantitat que hem de mesurar per saber a quina distància es troba l'estrella.

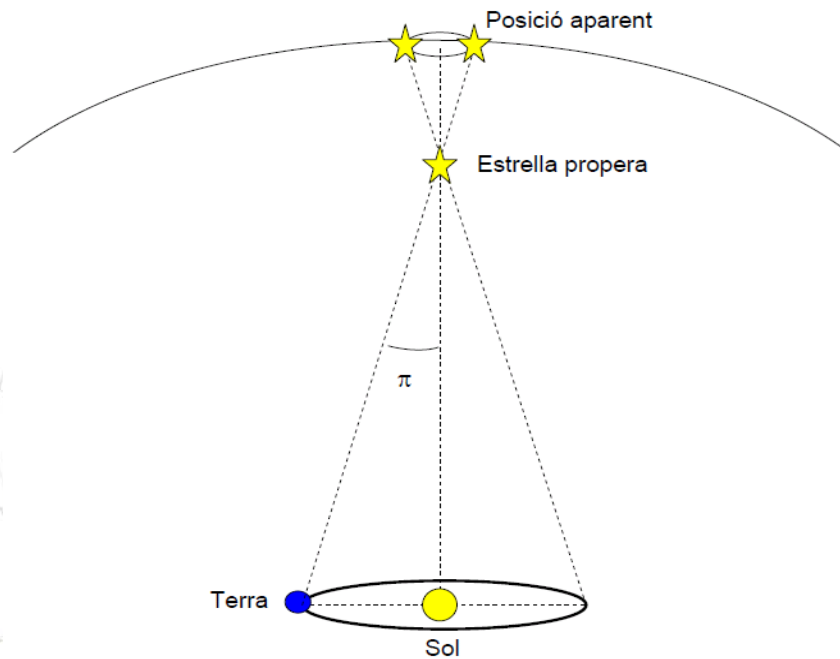


Figura 1: Vista des de la Terra, la posició aparent de l'estrella propera canvia quan orbitem entorn del Sol.

Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

Com més propera sigui l'estrella, l'angle π serà major. Com més allunyada estigui més petit serà, de manera que si l'estrella és molt, molt llunyana ja no s'apreciarà el desplaçament (l'estrella semblarà fixa a la volta celest) i l'angle π serà immesurable. Per tant, l'amplitud del desplaçament, o sigui la mida dels semieixos de l'el·lipse aparent, depèn de la distància de l'estrella al Sol.

Si l'estrella és al pla de l'òrbita de la Terra al voltant del Sol (anomenat pla de l'eclíptica), el desplaçament aparent de l'estrella a la volta celest ja no serà una el·lipse, sinó que serà una línia. De fet, l'el·lipse aparent augmenta l'excentricitat des d'igual a la de l'òrbita terrestre quan observem una estrella en la direcció perpendicular al pla de l'eclíptica, a ser 1 en el cas de situar-se sobre el pla de l'eclíptica.

Definició de paral·laxi

Si situem l'estrella en una direcció qualsevol a l'espai i en mirem la projecció a la volta celest al llarg d'un any, obtindrem el cas de la Figura 2.

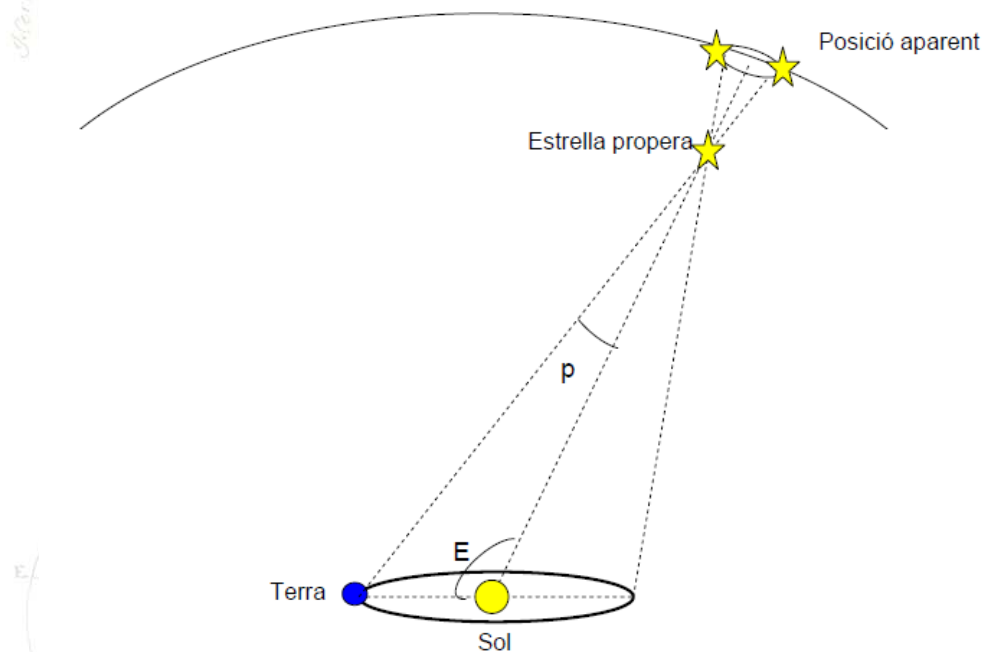


Figura 2: Equivalent a la Figura 1 però per a una posició genèrica del cel

En el cas particular que $E=90$ graus, l'angle p és directament la paral·laxi estel·lar que, com ja hem vist, es representa per la lletra π . Correspon al cas de la Figura 1. Amb una mica de trigonometria es pot calcular π a partir de p per a una estrella situada en qualsevol posició de la volta celest.

Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

La distància a l'estrella més propera al Sol, Pròxima Centaure, és de 4,2 anys-llum o sigui 268.000 vegades la distància Terra-Sol, que és de 1 ua (unitat astronòmica; aproximadament 150 milions de kilòmetres o 8,3 minuts-llum). Les estrelles dins de la nostra Galàxia poden ser a desenes de milers d'anys-llum.

Per tant, els angles p i π són molt petits i s'acostumen a mesurar amb segons d'arc (1/3600 graus) i els seus submúltiples: milisegons d'arc i microsegons d'arc. Tornant al cas de Pròxima Centaure, la seva paral·laxi π és de 0,769 segons d'arc. Totes les altres estrelles són més llunyanes i per tant tenen paral·laxis menors que 0,769 segons d'arc.

De la Figura 1 es pot deduir fàcilment que:

$$\tan \pi = \text{distància Terra-Sol} / \text{distància Sol-estrella}$$

i com que l'angle π és molt petit $\tan \pi \sim \pi$, i per tant,

$$\pi = \text{distància Terra-Sol} / \text{distància Sol-estrella}$$

Com que la *distància Terra-Sol* = 1 ua,

$$\pi = 1 \text{ ua} / \text{distància Sol-estrella} = 1 \text{ ua} / d \text{ (ua)}$$

on la distància Sol-estrella (d) també està expressada en unitats astronòmiques, i l'angle π en radians.

Ni els radians són una unitat còmode per a expressar angles tan petits, ni la unitat astronòmica ho és per expressar distàncies estel·lars tan grans. Per això, introduïm una nova unitat de distància que s'anomena *parsec* (abreujat pc) i que correspon a 206.265 unitats astronòmiques o 3,26 anys-llum. Amb aquest canvi d'unitat:

$$\pi \text{ (")} = 1 / d \text{ (pc)}$$

Dit d'una altra manera: quan la distància d entre el Sol i l'estrella és de 1 parsec, l'angle π és de 1 segon d'arc. La paral·laxi és només, doncs, l'invers de la distància.

Mesura de la paral·laxi

Les distàncies estel·lars són tan grans que fins que els instruments de mesura no van ser molt precisos no es va aconseguir de mesurar els angles de paral·laxi. Això va ocórrer als voltants del 1840 quan els astrònoms Bessel, Henderson i Struve van mesurar de forma independent les paral·laxis de 61 Cygni, α -Centauri i Vega, el 1838, 1839 i 1840, respectivament. Les paral·laxis que van mesurar van ser 0,3", 1" i 0,25" i avui dia, amb mesures més precises, sabem que aquestes tres estrelles tenen paral·laxis de 0,292", 0,751" i 0,123".

Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

Actualment les mesures més precises s'aconsegueixen amb el telescopi espacial Hubble, amb tècniques interferomètriques en radioastronomia, i amb una metodologia global utilitzada per les missions de l'Agència Espacial Europea anomenades Hipparcos (que va mesurar distàncies a 120.000 estrelles entre 1989 i 1993) i Gaia (amb llançament al 2013 i que mesurarà distàncies a mil milions d'estrelles)¹.

Realització

Es tracta de fer una mesura semblant a la mesura que fariem del desplaçament aparent d'una estrella al cel per il·lustrar la metodologia que es segueix.

En el nostre cas, situarem un pal vertical al terra en un espai obert, de tal manera que puguem veure el pal projectat contra els arbres, els edificis o les muntanyes llunyanes (Figura 3). Enfront del pal situem una línia amb dos punts A i B a igual distància del punt O. Les línies AB i OP han de ser perpendiculars. El punt O (origen) és equivalent a la posició del Sol, els punts A i B són equivalents a dos punts de l'òrbita de la Terra separats 6 mesos. El pal situat a P és l'estrella de la que volem calcular la seva distància. Convé que tant la distància \overline{AB} com la \overline{OP} siguin d'uns quants metres.

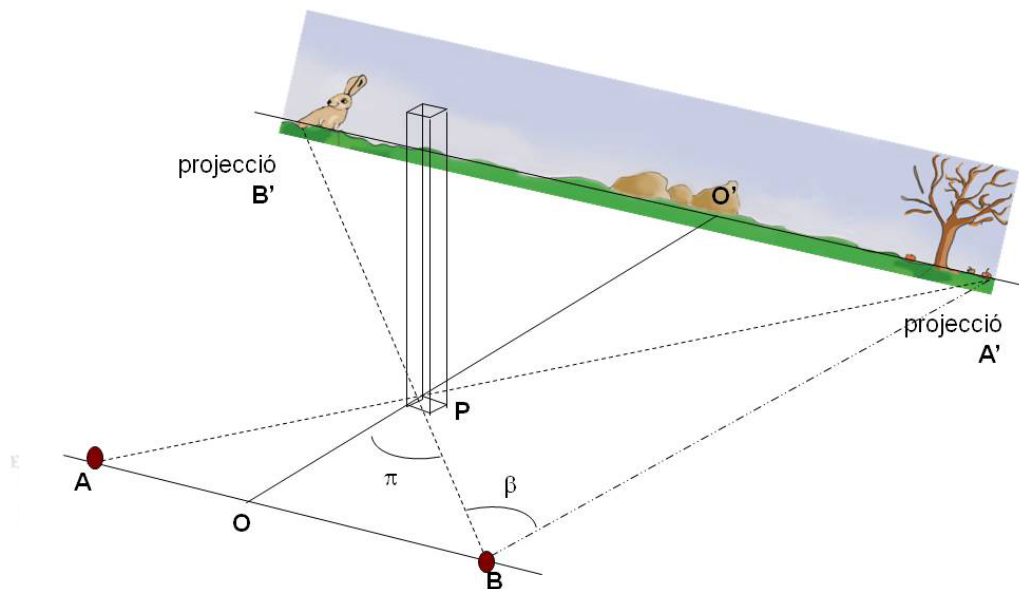


Figura 3: Esquema de la realització de les mesures

¹ Si voleu més informació sobre aquestes missions consulteu:

<http://www.rssd.esa.int/index.php?project=HIPPARCOS> i

<http://www.rssd.esa.int/index.php?project=GAIA&page=index>

Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

Per poder mesurar l'angle π sense moure'ns dels punts A i B hem de fer l'aproximació $\pi=\beta/2$. Aquesta aproximació és vàlida si els punts que fem servir de referència es troben molt lluny. O dit d'una altra manera, si la distància $\overline{OO'}$ és molt més gran que la distància \overline{AB} .

Situats en el punt A mirem contra quin punt del fons (A') és projecte el pal (l'estrella a distància desconeguda). Repetim l'operació des del punt B (la Terra al cap de sis mesos) i obtenim la projecció B'. Ara, des del mateix punt B, mesurem l'angle β entre A' i B'. A partir d'aquest angle obtenim la paral·laxi π del pal ($\pi=\beta/2$). Cal ser precisos en la mesura de l'angle, i per tant, en la identificació dels punts A' i B' dels fons.

Per mesurar l'angle β podem fer servir per exemple un transportador d'angles situat en posició horitzontal i al que haurem lligat un fil a l'origen que ens servirà de guia (Figura 4).

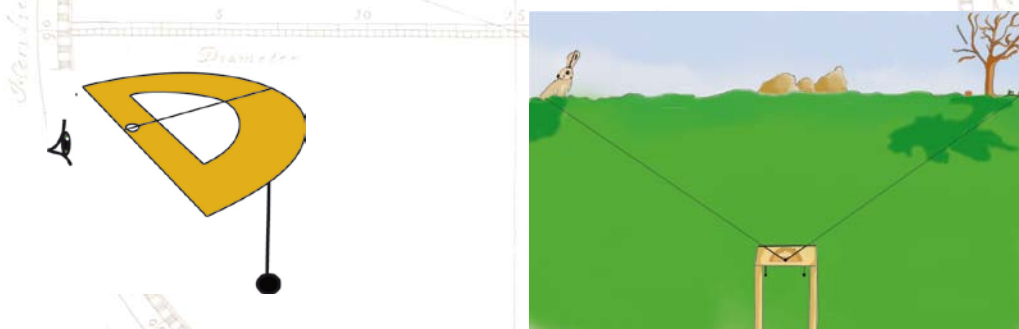


Figura 4: Il·lustració de l'observació

La distància \overline{OP} i l'angle π estan relacionats per:

$$\tan \pi = \frac{\overline{AB}/2}{\overline{OP}}$$

Per tant, la distància \overline{OP} es pot deduir a partir de:

$$\overline{OP} = \frac{\overline{AB}/2}{\tan \pi}$$

Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

La distància \overline{OP} té les mateixes unitats que la distància \overline{AB} (si mesurem \overline{AB} en metres, el resultat d' \overline{OP} també serà en metres).

Comproveu que realment la distància \overline{OP} que obteniu amb aquest mètode coincideix amb la distància \overline{OP} mesurada directament amb una cinta mètrica.

L'exercici es pot repetir tantes vegades com es vulgui canviant la distància \overline{OP} i veient que la distància $\overline{A'B'}$ canvia.

També es pot deixar la distància \overline{OP} fixa i canviar la distància \overline{AB} simulant observacions des de Venus (si \overline{AB} és més petita) o des de Mart, Júpiter, Saturn (si la distància \overline{AB} és més gran).

Alternativa 1: El mateix exercici es pot fer no pas mesurant la projecció del pal respecte del paisatge llunyà sinó mesurant angles respecte de la direcció d'un punt molt llunyà com pot ser el Pol Nord (vegeu Figura 5). En aquest cas el Pol Nord es veu en la mateixa direcció des d'A i des de B. No cal fer aproximacions amb els angles, però no es veu tan evident el canvi de la direcció de visió del pal P des d'A i des de B. Aquest canvi de direcció s'aprecia quan es mesura que els angles β_1 i β_2 són diferents.

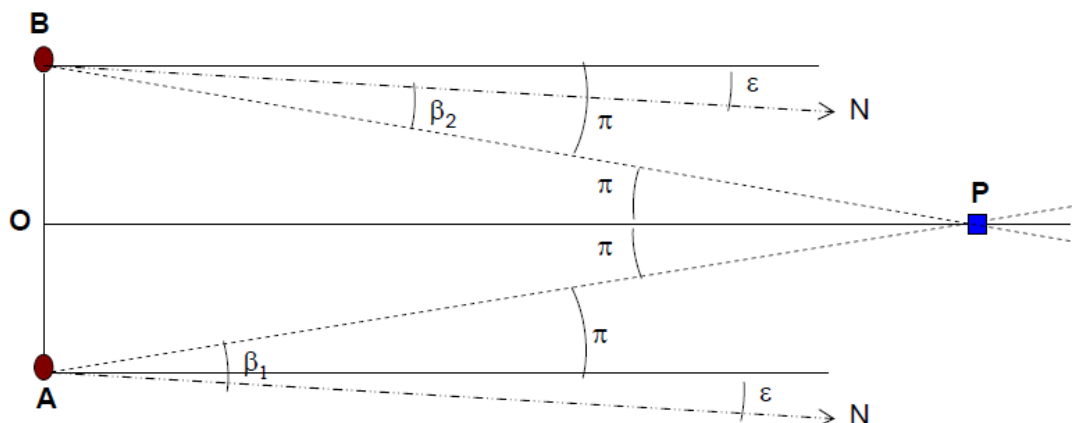


Figura 5: Mesura de la distància \overline{OP} des de dos punts A i B utilitzant els angles respecte de la direcció Nord

Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

Per dur a terme aquesta activitat cal l'ajuda d'una brúixola per poder mesurar els dos angles β_1 i β_2 . És convenient que la distància \overline{OP} sigui com a màxim d'unes tres vegades la distància \overline{AB} , per cometre poc error en la mesura dels angles.

De la figura es pot deduir que

$$\pi = \beta_2 + \varepsilon$$

$$\beta_1 = \pi + \varepsilon$$

i per tant, que

$$\pi - \beta_2 = \beta_1 - \pi$$

$$\pi = \frac{1}{2}(\beta_1 + \beta_2)$$

$$\tan \pi = \frac{\overline{AB}/2}{\overline{OP}}$$

d'on es dedueix la distància \overline{OP} com a:

$$\overline{OP} = \frac{\overline{AB}/2}{\tan \pi}$$

Alternativa 2: Aquest mateix exercici es pot fer utilitzant els dos ulls com a punts A i B, un dit com a pal P, el braç ben estirat i mesurar la projecció del dit sobre d'una paret (vegeu Figura 5). En aquest cas per mesurar l'angle β es pot fer amb la següent aproximació:

$$\tan(\beta/2) = \frac{\overline{A'B'}/2}{\overline{PO'}} \sim \frac{\overline{A'B'}/2}{\overline{OO'}}$$

$$\pi = \beta/2 = \arctan \frac{\overline{A'B'}/2}{\overline{OO'}}$$

Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

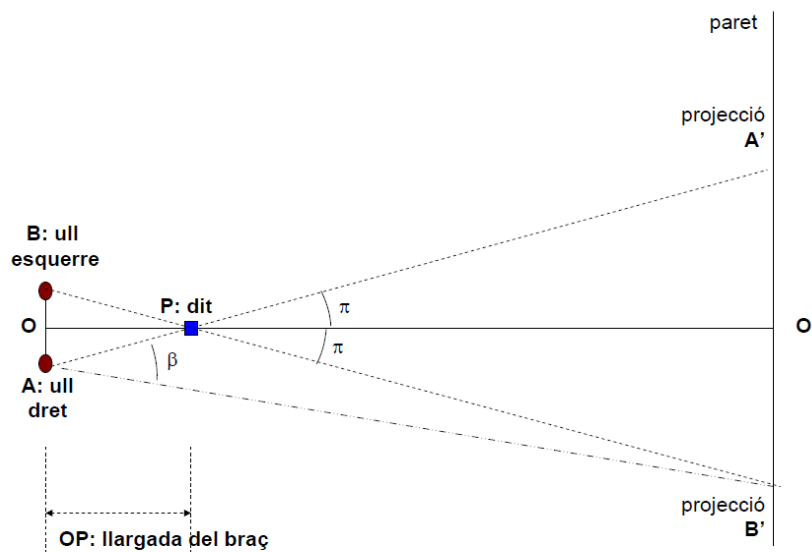


Figura 6: Mesura de la llargada del braç a partir de l'observació amb els dos ulls i la projecció sobre d'una paret allunyada.

Podeu comprovar que la llargada del braç que obteniu amb aquesta metodologia coincideix amb la llargada real del braç.

