

Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

Activitat 1: La distància Terra – Sol

1r mètode: Determinació de la distància Terra-Sol mitjançant observacions simultànies des de llocs diferents

Introducció

Fins fa poc més de 300 anys ningú sabia com es podia mesurar de forma precisa la distància de la Terra al Sol. Però a finals del segle XVII, Edmond Halley, el mateix astrònom que va predir el retorn d'un cometa que des d'aleshores porta el seu nom, es va adonar que observant des de diferents llocs de la Terra el pas de Venus pel davant del Sol (el que en astronomia s'anomena *trànsit de Venus*), hom hauria de ser capaç de calcular la distància al Sol.

Els fonaments de la idea de Halley són en el fons ben fàcils d'entendre. Tot es basa en l'efecte de perspectiva pel qual des de dues localitzacions diferents, la posició de Venus sobre el disc solar varia. És el mateix que passa quan ens apropem un dit a la cara i fem l'ullet mirant el dit amb un ull o amb l'altre. Segons amb quin ull mirem, veurem el dit projectat contra el fons en un lloc o en un altre. En el cas del trànsit de Venus, els dos observadors són els equivalents als dos ulls, Venus és l'equivalent al dit, i el Sol és l'equivalent al fons. Segons des d'on fem l'observació, Venus es veurà en un lloc diferent del disc solar. Caldrà forçosament, doncs, combinar observacions des de llocs diferents de la Terra. Com es pot entendre fàcilment, l'efecte de perspectiva serà més important com més separats siguin els dos llocs d'observació i per tant, se'n derivarà una distància més precisa.

Només hi ha un petit inconvenient: els trànsits de Venus són uns fenòmens molt poc freqüents. Com podeu veure a la taula 1, des de l'època de Halley només s'han produït 6 trànsits. Cada un d'ells va ser observat per desenes d'astrònoms des de diversos llocs del món, amb l'única intenció de poder calcular la distància al Sol. I, amb més o menys precisió, els seus objectius es van aconseguir.

Des de finals del segle XIX el mètode de Halley ha estat superat per altres mètodes més precisos. Avui en dia, gràcies a l'ús del radar, sabem que la distància de la Terra al Sol és de 149 597 870 km.

Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

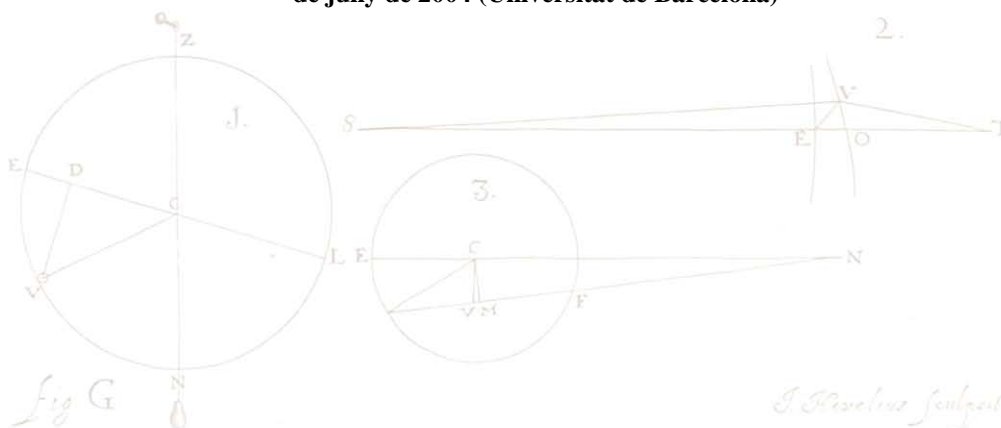
7 de desembre de 1631	6 de desembre de 1882
4 de desembre de 1639	8 de juny de 2004
6 de juny de 1761	5-6 de juny de 2012
3 de juny de 1769	11 de desembre de 2117
9 de desembre de 1874	8 de desembre de 2125

Taula 1: Trànsits de Venus entre els segles XVII i XXI

En aquesta activitat us proposem que, fent servir un simulador, *observeu* el trànsit de Venus de l'any 2012 des de diversos llocs de la Terra, i calculeu vosaltres mateixos com de lluny es troba el Sol de nosaltres.



Figura 1: Imatge del trànsit de Venus del 8 de juny de 2004 (Universitat de Barcelona)



Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

Fonaments:

L'única quantitat que heu de mesurar és la distància entre els centres de Venus, projectat sobre el disc solar, vistos des de dues localitats diferents al mateix instant. A aquesta quantitat l'anomenarem $\Delta\pi$ i haurà d'estar mesurada en segons d'arc (figura 2).

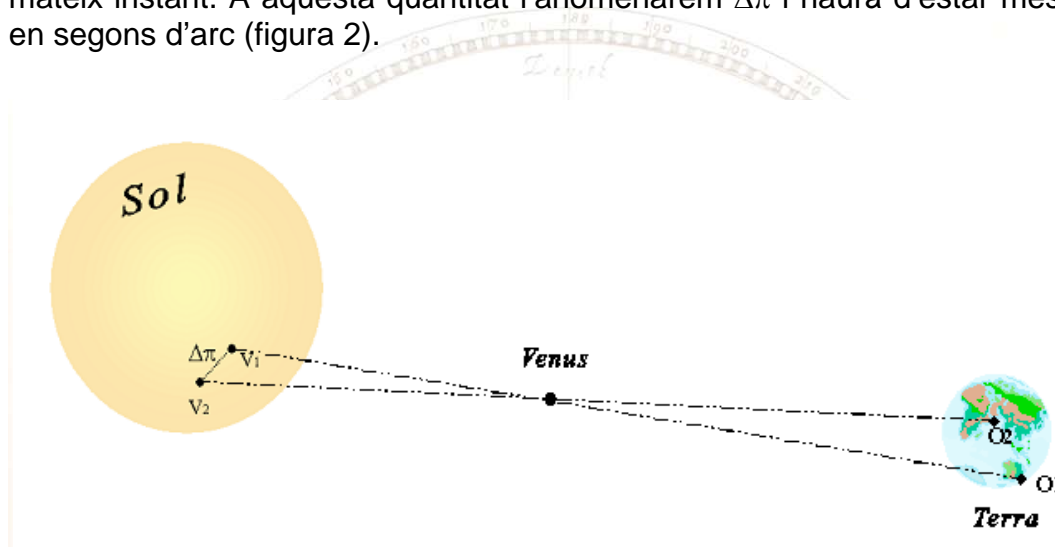


Figura 2: Canvi de posició de Venus vist per dos observadors diferents per efecte de la perspectiva

A més necessitarem tres quantitats auxiliars que ens donarà el mateix programa de simulació:

- El semi-diàmetre del Sol (sd): és la meitat de l'angle amb el que un observador veu el disc del Sol, mesurat en segons d'arc (figura 3)
- La distància projectada entre observadors (d), mesurada en radis terrestres.
- El quocient entre la distància Terra-Sol i la distància Terra-Venus (r_T/r_V)

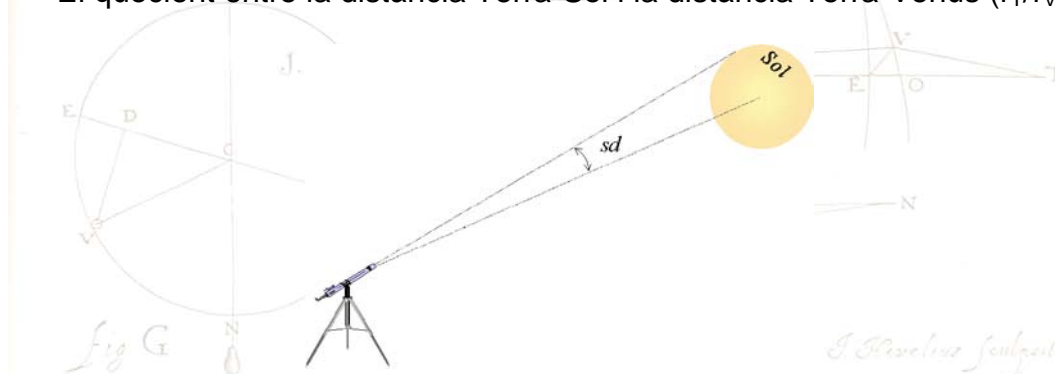


Figura 3: Definició del semi-diàmetre del Sol.

Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

Per últim ens caldrà conèixer el radi de la Terra (R_T).

Una vegada disposem d'aquestes quantitats, primer calcularem l'angle amb que es veuria el radi de la Terra (R_T) des del centre del Sol (Figura 4). A aquesta quantitat se l'anomena paral·laxi solar (π_s), i es calcula amb la següent fórmula:

$$\pi_s = \Delta\pi \left(\frac{r_T}{r_V} - 1 \right) \frac{1}{d} \quad (3.1)$$

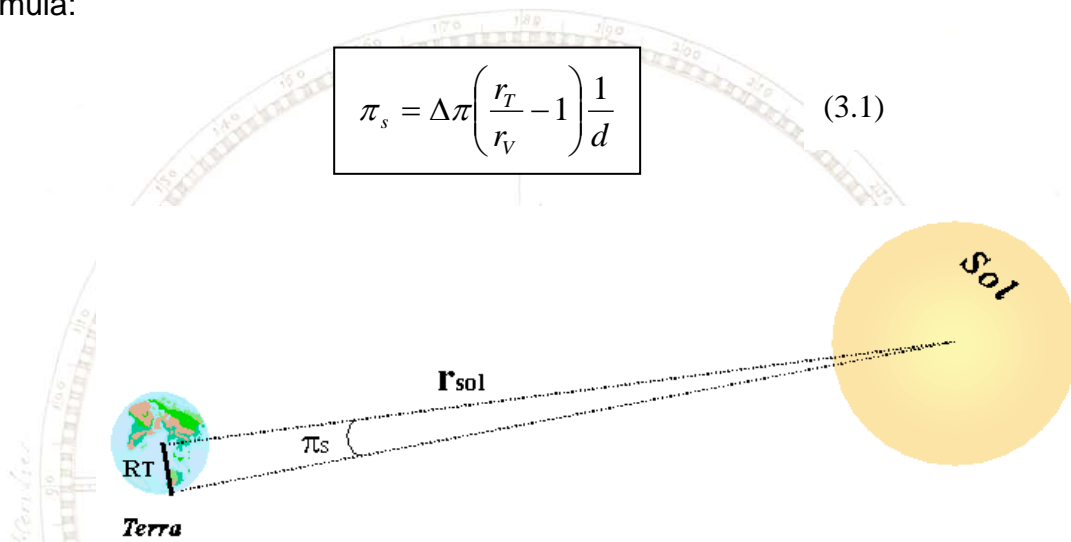


Figura 4: Paral·laxi solar

Aplicant la definició del sinus al triangle rectangle format pel centre del Sol, el centre de la Terra i l'observador, obtenim:

$$\sin \pi_s = \frac{R_T}{r_{SOL}}$$

Com l'angle π_s és un angle petit, el valor del seu sinus coincideix molt aproximadament amb el del propi angle expressat en radians:

$$\sin \pi_s \approx \pi_s$$

De tal manera que la distància al Sol es pot calcular amb la fórmula:

$$r_{SOL} = \frac{R_T}{\pi_s} \quad (3.2)$$

Recordeu que per a que les unitats de r_{SOL} siguin quilòmetres, R_T ha d'estar també en quilòmetres i π_s en radians.

Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

Realització:

La pràctica consisteix en realitzar dues o més fotografies del trànsit de Venus des de diferents llocs de la Terra per poder aplicar posteriorment el mètode descrit a l'apartat anterior. Per això farem servir el programa **simTV**, el qual permet simular el trànsit tal i com el veuríem des de qualsevol punt de la Terra.

1. Inici

- Escolliu quin trànsit voleu observar fent servir el desplegable de l'esquerra.
- Seleccioneu Pràctica I (Fotografia)
- Doneu un identificador (per exemple el vostre nom) al conjunt d'observacions que realitzareu. Això us permetrà guardar totes les dades obtingudes en una única carpeta.
- Premeu el botó Observar per començar la pràctica.

The screenshot shows the 'simTV' software interface. At the top, there is a dropdown menu labeled 'Trànsit:' with the value '8 de juny de 2004'. To its right is a text input field labeled 'Identificador:' containing the text 'xavier'. Below these are two radio buttons under the heading 'Tipus de Pràctica:'. The first is 'Pràctica I (Fotografia)' and is selected. The second is 'Pràctica II (Durada del trànsit)'. To the right of the radio buttons is a text area labeled 'Altres Observacions:' containing the text 'alex.obs' and 'marta.obs'. At the bottom of the interface are two buttons: 'Observar' and 'Cancelar'.

Figura 5: Pantalla d'inici

2 Selecció de les localitats

Fent servir els desplegables País i Localitat podeu escollir els llocs des d'on voleu observar el trànsit. Recordeu-vos de prémer **Afegir** per tal que la localitat quedi seleccionada. Heu d'escollir un mínim de dos localitats. Quan més separades estiguin una de l'altra, més precisa serà la distància al Sol que obtindreu.

Quan seleccioneu una localitat podreu veure les hores a les que comença i acaba el trànsit, així com les hores de sortida i posta del Sol per aquella localitat. Això és important per programar les hores a les que realitzareu les vostres fotografies.

Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

Per esborrar una localitat només cal marcar-la a la llista i prémer **Borrar**.

Pais	Localitats	Nova	Lon.	Lat.
Andorra	Andorra La Vella		1° 30' 00" E	42° 30' 00" N
Andorra	Andorra La Vella		1° 30' 00" E	42° 30' 00" N
Kenya	Kisumu		34° 47' 00" E	0° 08' 00" S
Swahabwe	Bulawayo		28° 43' 00" E	20° 10' 00" S

Instants contactes:
 Sortida del Sol: 04:22
 I: 05:20
 II: 05:40
 Màxim: 08:23
 III: 11:05
 IV: 11:24
 Posta del Sol: 19:22

Detalls del trànsit

Lista de localitats

Figura 6: Selecció de la localitat

Si voleu observar des d'una localitat que no apareix a la llista, podeu introduir-la prement **Nova**. Heu de conèixer les seves coordenades geogràfiques (longitud i latitud), que podeu trobar consultant un atlas.

Nova localitat


Pais: Austràlia [Netejar]

Localitat: Cairns [Afegir]

Latitud: -19 ° 16 ' 23 '' [Borrar]

Longitud: 146 ° 30 ' 10 '' [Cancel·lar]

Figura 7: Introducció d'una nova localitat

Un cop tingueu seleccionades totes les localitats des de les que voleu observar (dues com a mínim), premeu el botó  per iniciar les observacions.

3 Observacions

L'esquema que us apareix a la pantalla us mostra la trajectòria que seguirà Venus pel davant del Sol durant el trànsit. A l'esquerra teniu un rellotge i els temps dels contactes entre el disc de Venus i el Sol, l'instant de màxim apropament entre tots dos i els instants de posta i sortida del Sol. Al llarg del trànsit podreu fer 3 fotografies. Abans de començar penseu bé a quina hora

Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

fareu cadascuna d'elles. Quan estigueu a punt per començar l'observació, premeu **Començar**.

El trànsit ha començat! El disc de Venus es va desplaçant progressivament pel davant del Sol. En realitat el trànsit dura més de 5 hores, però per poder realitzar la pràctica hem accelerat el pas del temps. Observeu que si situeu la fletxa del ratolí sobre del botó Fotografiar la velocitat disminueix i podeu fer la fotografia a l'hora desitjada sense cap problema. En qualsevol cas podeu variar la velocitat seleccionant el mode manual. Per fer la fotografia només us cal prémer el botó **Fotografiar** i la imatge del Sol en aquell instant quedarà guardada en un fitxer que després podreu imprimir.

Un cop tingueu les 3 fotografies espereu a que acabi el trànsit. Quan hagi acabat, podeu començar l'observació des de la següent localitat, des d'on hauréu de fer 3 noves fotografies. Quan hagueu observat des de totes les localitats seleccionades, podeu veure els resultats obtinguts prement el botó

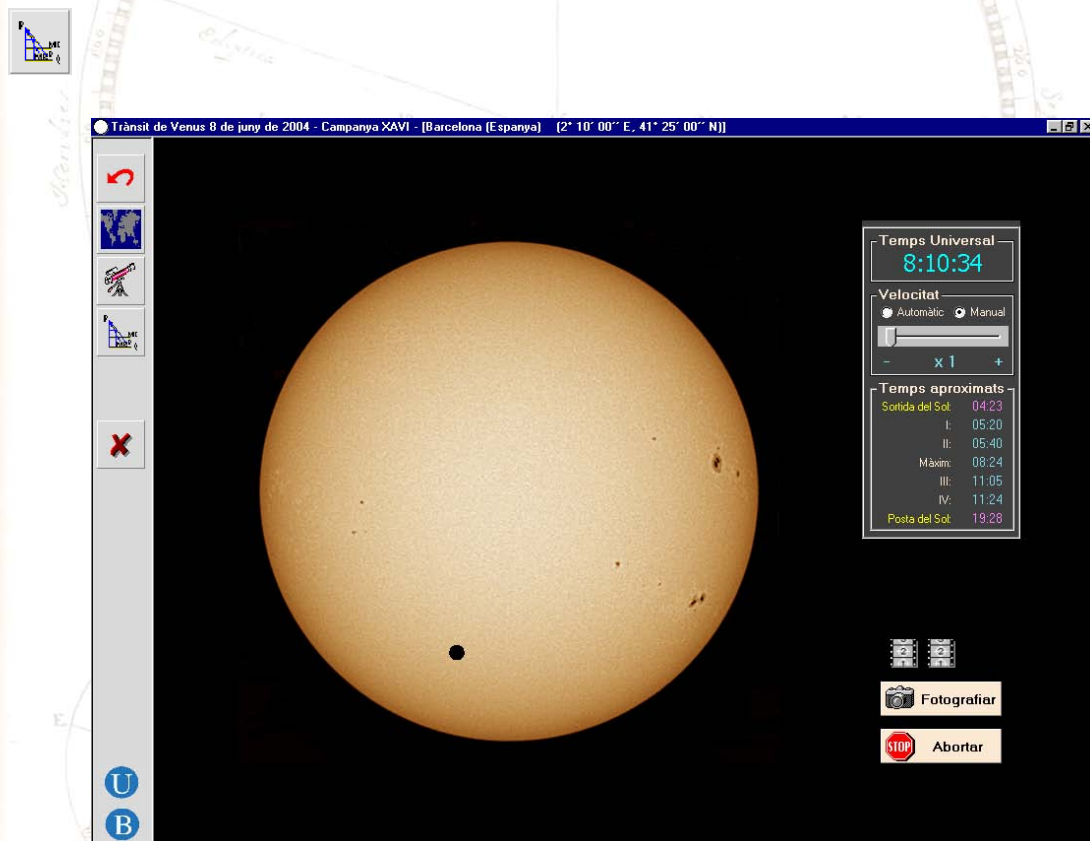


Figura 8: Pantalla d'observació.

Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

4 Resultats

Hem dit que aquesta pràctica consisteix en la comparació de dues fotografies preses **simultàniament** des de llocs diferents.

A la part superior de la pantalla podeu veure una llista de les fotografies que heu pres des dels diferents llocs. Heu de seleccionar dues fotografies (una de la part esquerra com a Fotografia 1 i una de la part dreta com a Fotografia 2) de tal manera que les instants en els que estan fetes no difereixin més d'1 minut. Al seleccionar la fotografia, la podreu veure a la part inferior.

Si les dues fotografies seleccionades han estat fetes amb menys d'un minut de diferència, les podreu fer servir per calcular la distància de la Terra al Sol. Per tal de poder fer els càlculs amb comoditat, **imprimiu ambdues fotografies així com l'informe** que us donarà les dades auxiliars que necessitareu per tal de realitzar aquests càlculs.

(De moment no es poden imprimir les fotografies directament des del programa. El mètode alternatiu per fer-ho consisteix en obtenir els arxius jpg de les fotografies i imprimir-les amb un altre programa. Els passos són els següents:

*Dins la carpeta on heu desat els arxius d'instal·lació del programa s'haurà creat una subcarpeta anomenada **observacions**. Dins d'aquesta se n'haurà creat una altra amb el nom que heu utilitzat com identificador en el programa.*

Dins d'aquesta subcarpeta s'hi guarden els arxius .jpg de les fotografies preses. El seu nom serà: Ciutat_PaísNºfotografia

Imprimiu aquesta fotografia amb el programa que utilitzeu normalment per a fer-ho.)

Si heu observat des de més de dues localitats proveu de determinar la distància Terra-Sol fent servir diferents parelles de localitats i compareu els resultats obtinguts.

Fotografia 1	Localitat	Longitud	Latitud	Fotografia 2
7:30:01	Andorra La Vella (Andorra)	1° 30' 00" E	42° 30' 00" N	7:30:01
7:30:04	Kisumu (Kenya)	34° 47' 00" E	0° 00' 00" S	7:30:04
7:29:40	Bujumbura (Burundi)	29° 42' 00" E	20° 10' 00" S	7:29:40

Fotografies

Andorra La Vella (Andorra) 7:30:01

Kisumu (Kenya) 7:30:04

Dades auxiliars

Semidiàmetre solar (sd): 945"
 Distància projectada entre observadors (d): 5375 km
 Distància Sol-Terra (dt): 1.01508 UA
 Distància Sol-Terra / Distància Sol-Venus (dt/dv): 1.39780

Figura 9: Pantalla de resultats

Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

5 Realització dels càlculs

La primera quantitat que heu de determinar a partir de les fotografies és la separació entre les dues imatges de Venus. Com hem vist quan descrivíem el mètode, aquesta separació és en realitat un angle. El procediment és el següent:

a) Mesureu la distància a la que es troba el centre de Venus dels extrems de la fotografia, tant en sentit horitzontal com vertical (figura 18). Aquestes dues quantitats seran les coordenades (x,y) de Venus a la fotografia.

b) Repetiu l'apartat a) per la segona fotografia.

Alternativament podeu determinar les coordenades (x_1, y_1) i (x_2, y_2) a partir dels fitxers .bmp i utilitzant un programa d'edició d'imatges com el Paint.

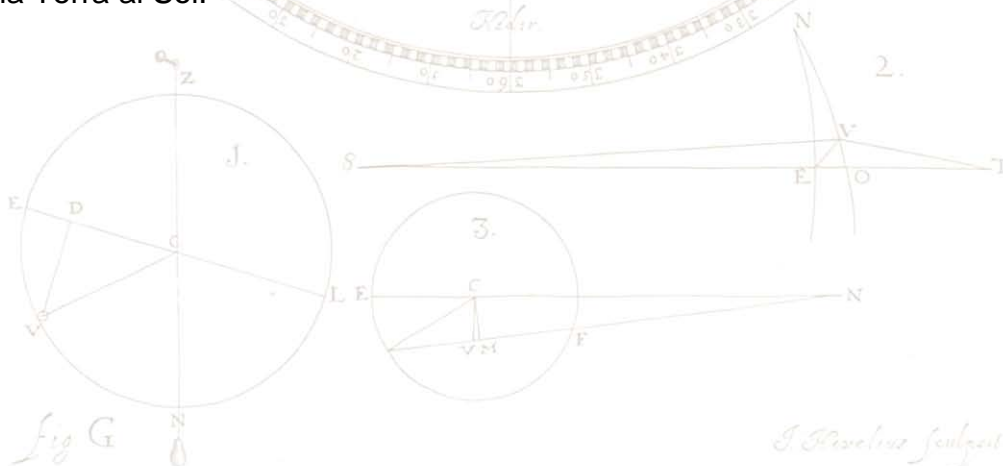
c) Calculeu la distància en mil·límetres entre les dues imatges de Venus aplicant la següent fórmula:

$$\Delta V = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

d) Determineu la mida en mil·límetres del disc del Sol sobre una de les fotografies. Coneixent el semi-diàmetre del Sol (sd), dada auxiliar proporcionada pel programa, podeu calcular la $\Delta\pi$ en segons d'arc:

$$\Delta\pi(\text{segons d'arc}) = 2 \Delta V (\text{mm}) \frac{\text{semi diàmetre del Sol (segons d'arc)}}{\text{diàmetre del Sol (mm)}}$$

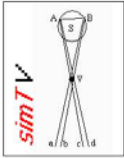

e) Ara ja podeu aplicar les fórmules (3.1) i (3.2) per obtenir la distància de la Terra al Sol.



Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

Venus in Sole observed
15/06/2004

PRÀCTICA TRÀNSIT DE VENUS
Trànsit de Venus 8 de juny de 2004 - Campanya ALEX - [Reducció]

Fotos Realitzades

Localitat	Latitud	Longitud	Foto 1	Foto 2	Foto 3
Tirana (Albània)	19° 49' 00'' E	41° 20' 00'' N	6:00:01	6:16:09	6:16:12
Bavisal (Bangla Desh)	90° 20' 00'' E	22° 30' 00'' N	6:00:00	6:11:32	6:11:32

Fotos Seleccionades

Fotografia 1

Tirana (Albània)
6:00:01

Fotografia 2

Bavisal (Bangla Desh)
6:00:00

Dades Auxiliars

Semidiàmetre solar (sd) = 945''

Distància projectada entre observadors (d) = 0,8811 Radis Terra

Distància Sol-Terra (rt) = 1,01507 UA

Distància Sol-Terra / Distància Sol-Venus (rt/rv) : 1,39780

Resultat

Distància Sol-Terra = km

Figura 10: Exemple d'informe de l'activitat

Distàncies astronòmiques

Activitats per a secundària

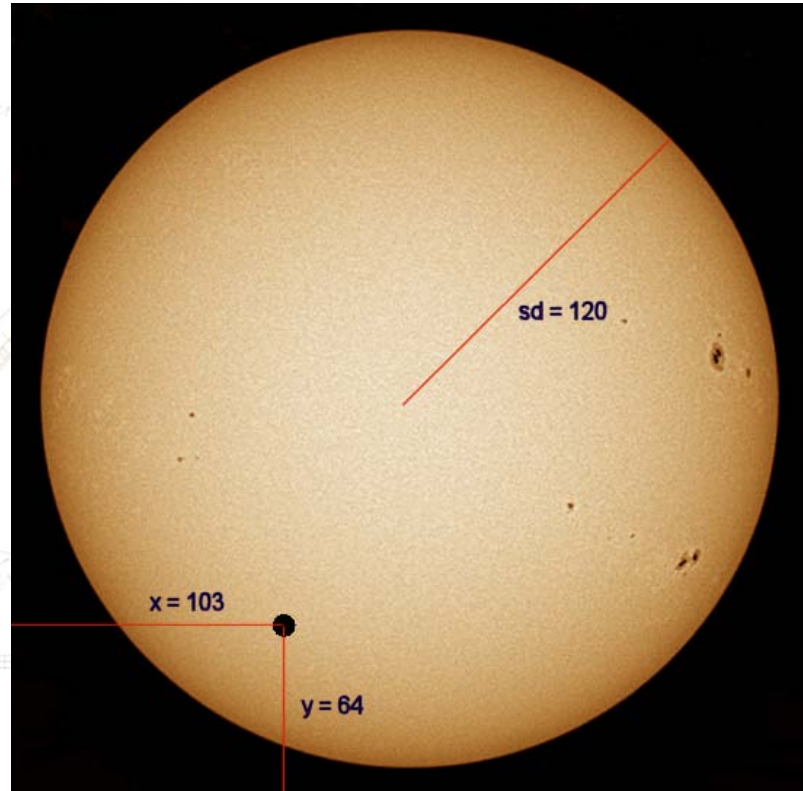


Figura 11: Exemple de mesures del semidiàmetre del Sol i de la posició de Venus.

Qüestions:

Responen raonadament a les següents preguntes:

- Per què és més precís el càlcul de la distància Terra-Sol si les localitats des d'on fem les fotografies estan més separades?
- Quins altres planetes del Sistema Solar passen pel davant del Sol? Creieu que es podrien fer servir, com Venus, per calcular la distància al Sol amb el mètode que heu utilitzat? El resultat seria millor, pitjor o igual?
- Què passaria si no coneguéssim el valor del radi de la Terra? Podríem determinar la distància de la Terra al Sol?

Guió de la pràctica:

Eduard Masana (Departament d'Astronomia i Meteorologia Universitat de Barcelona)