ESA/ESO ÖVNINGSSERIE I ASTRONOMI

Övningar i astronomi
som använder observationer från
NASA/ESA Hubble Space Telescope
och ESOs teleskop

Verktyg

esa

ESO

Innehåll

Verktyg

Astronomiska Verktyg

Matematiska Verktyg

Lärarens Guide

Innehåll

$\omega = \frac{(F-1)d}{}$

Magnituder: Ett koncept som utvecklades år 120 f.Kr.

När vi tittar upp på himlen en klar natt ser vi stjärnor. Sedda från jorden verkar vissa vara ljusstarka och andra väldigt ljussvaga. Några av de svaga stjärnorna är i verkligheten väldigt starka, men de befinner sig på ett stort avstånd från oss. Några av de starka stjärnorna är å andra sidan mycket svaga men råkar befinna sig nära oss. När vi gör astronomiska observationer är vi tvingade att stanna på jorden eller i dess närhet, vilket gör att vi endast kan mäta det ljus som når oss. Tyvärr berättar detta inget direkt för oss om stjärnans *inre egenskaper*. Om vi vill veta mer om stjärnan, till exempel dess fysikaliska/interna ljusstyrka, måste vi veta dess avstånd från jorden.

Historiskt har de stjärnor som är synliga för blotta ögat delats in i sex olika ljusstyrkeklasser, så kallade magnituder. Detta system uppfanns runt år 120 f.Kr. av den grekiske astronomen Hipparkos och används fortfarande i en aningen justerad form. Hipparkos valde att kategorisera de ljusaste stjärnorna som magnitud 1 och de svagaste som magnitud 6.

Astronomin har ändrats väldigt mycket sedan Hipparkos levde! I stället för att använda bara ögonen så används nu stora speglar i antingen markbaserade teleskop som till exempel VLT i Atacamaöknen i Chile eller som Hubble Space Telescope ovanför jordens atmosfär. Det infångade ljuset analyseras sedan av instrument som är kapabla att upptäcka objekt som är miljardtals gånger svagare än vad människans öga klarar av att se.

Trots detta använder även dagens astronomer en aningen justerad version av Hipparkos magnitudskala, som kallas apparent magnitud. Den moderna definitionen på magnitud valdes så att redan gjorda mätningar inte behövde göras om. Astronomer använder två olika typer av magnituder: *apparenta magnituder* och *absoluta magnituder*.

Apparent magnitud

En stjärnas apparenta magnitud, m, är ett mått på hur ljusstark den ser ut att vara på eller nära jorden. I stället för att definiera magnituden efter det antal fotoner som vi observerar, definieras den efter magnituden och intensiteten hos en referensstjärna. Detta betyder att en astronom kan mäta en stjärnas apparenta magnitud genom att jämföra mätningarna med någon standardstjärna som redan är uppmätt på ett absolut (motsatt till relativt) sätt.

Den apparenta magnituden, m, ges av:

$$m = m_{ref} - 2{,}5 \log_{10}(I/I_{ref})$$

där m_{ref} är referensstjärnans apparenta magnitud, I den uppmätta intensiteten på stjärnans ljus och I_{ref} är intensitet på referensstjärnans

Figur 1: Hipparkos från Nicea (190 - 120 f.Kr.) arbetar
Den grekiske astronomen Hipparkos, som uppfann den första skalan som jämför ljusstyrkan hos stjärnorna.

ljus. Skalfaktorn 2,5 förskjuter skalan så att den nya definitionen av apparent magnitud passar med den gamla, mer subjektiva, definitionen.

Intressant att notera är att den skala som Hipparkos valde, helt intuitivt och enbart med hjälp av sina ögon, redan är logaritmisk på grund av att ögats respons på ljus är just logaritmisk.

Som jämförelse kan nämnas att fullmånens apparenta magnitud är −12,7, Venus har när den är som ljusast magnituden −4 och solens magnitud är ungefär −26,5.

Absolut magnitud

Vi har nu en ordentlig definition på apparent magnitud. Det är ett användbart hjälpmedel för astronomer, men säger inget om de inneboende egenskaperna hos stjärnan. Vi behöver fastställa en gemensam egenskap, som vi kan använda för att jämföra olika stjärnor och använda i statistisk analys. Denna egenskap är den absoluta magnituden.

En stjärnas absoluta magnitud, M, definieras som den apparenta magnitud som stjärnan skulle ha om den befann sig på ett avstånd av 10 parsec (läs om parsec i "Matematiska Verktyg") från observatören. Eftersom endast ett litet fåtal stjärnor verkligen befinner sig på 10 parsecs avstånd får vi använda en ekvation som tillåter oss att beräkna den absoluta magnituden för stjärnor på olika avstånd: avståndsekvationen. Ekvationen fungerar naturligtvis också åt andra hållet, så att om vi vet avståndet kan vi beräkna den absoluta magnituden.

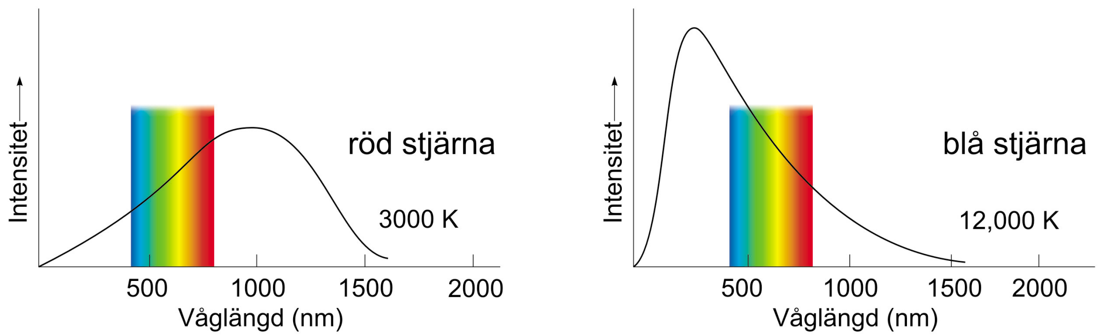
Olika färger, olika magnituder

På sent 1800-tal, när astronomerna började använda fotografisk utrustning för att avbilda himlen och mäta apparenta magnituder, uppstod ett nytt problem. Vissa stjärnor, som verkade ha samma magnitud när de observerades med blotta ögat, visade sig ha olika magnitud på foto och tvärtom. Filmen som användes visade sig vara mer känslig i blått och mindre känslig i rött jämfört med ögat.

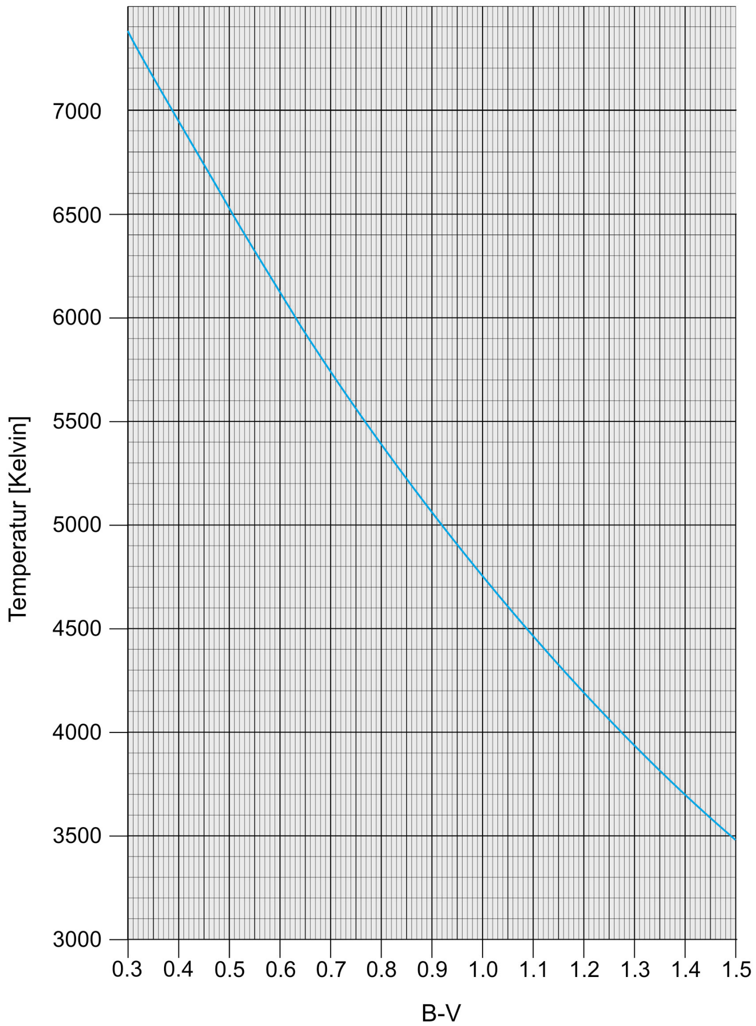
Följaktligen så skapades två olika skalor: *visuell magnitud*, m_{vis}, som beskrev stjärnans styrka sedd med blotta ögat, och *fotografisk magnitud*, m_{foto}, som refererade till mätningar med den blåkänsliga svartvita filmen. Dessa förkortas numera m_v och m_f.

Olika fotografiska emulsioner varierar dock i känslighet för olika färger. Dessutom har olika människors ögon olika känslighet. Man blev tvungen att kalibrera magnitudsystem noggrannare för olika våglängdsområden.

Idag specificeras exakta magnituder genom mätningar med en standard fotoelektrisk fotometer med standardfärgfilter framför. Flera olika fotometriska system är nu uppfunna och däribland är UBV-systemet, som är namngett efter de tre vanligast använda filtren, mest känt. U filtret släpper mestadels igenom nära ultraviolett ljus, B släpper huvudsakligen igenom blått ljus och V motsvarar någorlunda väl den gamla visuella magnituden; dess breda topp ligger i det gul-gröna området där ögat är känsligast. Motsvarande magnituder kallas m_U, m_B och m_V.



Figur 2: Temperaturer och färger hos stjärnor
Denna schematiska figur visar relationen mellan färg och yttemperatur hos en stjärna. Intensiteten är plottad mot våglängden för två hypotetiska stjärnor. Den visuella delen av spektret visas. Stjärnans färg bestäms av var i den visuella delen av spektret dess intensitetstopp ligger.



Figur 3: Yttemperatur mot färgindexet B-V
Detta diagram visar förhållandet mellan yttemperaturen, T, och färgindexet B-V hos en stjärna. Om man vet antingen yttemperaturen eller B-V indexet hos en stjärna kan man ta reda på det andra med hjälp av detta diagram.

Från färgindexet B–V till temperatur

Termen B–V färgindex (astronomer använder bara uttrycket B–V) definieras som skillnaden mellan två magnituder, m_B-m_V (som mäts med UBV-systemet). En helt vit stjärna har ett B–V färgindex på ungefär 0,2, vår gula sol har ett B–V på 0.63, Betelgeuse som är orange-röd har B–V på 1.85 och den blåaste stjärna som man tror finns har ett B–V färgindex på -0,4. Ett sätt att föreställa sig färgindexet är att ju blåare en stjärna är, desto starkare är den i blått och alltså har den en mer negativ B-magnitud och därför lägre skillnad i m_B-m_V. Det finns en klar relation mellan en stjärnas yttemperatur, T, och B–V färgindex (se Reed, C., 1998, Journal of the Royal Society of Canada, 92, 36–37) så att vi kan finna yttemperaturen genom att använda ett diagram med T mot m_B-m_V. (se Fig. 3).

$\log_{10}(T) = (14{,}551 - (m_B - m_V))/ 3{,}684$

Avståndsekvationen

Avståndsekvationen skrivs:

$m-M = 5 \log_{10}(D/10 \text{ pc}) = 5 \log_{10}(D) - 5$

Denna ekvation beskriver sambandet mellan den apparenta magnituden, m, den absoluta magnituden, M, och avståndet, D, mätt i parsec. Värdet av m-M är känt som den så kallade avståndsmodulen och kan användas för att bestämma avståndet till ett objekt.

Med lite algebra är det möjligt att göra om denna ekvation till en ekvivalent form som ibland är mer användbar (testa gärna dig själv):

$D = 10^{(m-M+5)/5}$

När avstånd till objekt i universum bestäms, mäts först den apparenta magnituden, m. Om vi sen vet den verkliga ljusstyrkan hos objektet (dess absoluta magnitud), kan vi beräkna avståndet D. Mycket av det svåraste arbetet när astronomiska avstånd ska beräknas är att bestämma den absoluta magnituden för vissa typer av objekt. Absoluta magnituder har till exempel blivit mätta av ESAs satellit HIPPARCOS. Satelliten HIPPARCOS mätte bland annat avstånd och apparenta magnituder till ett stort antal närliggande stjärnor.

Korta övningsuppgifter

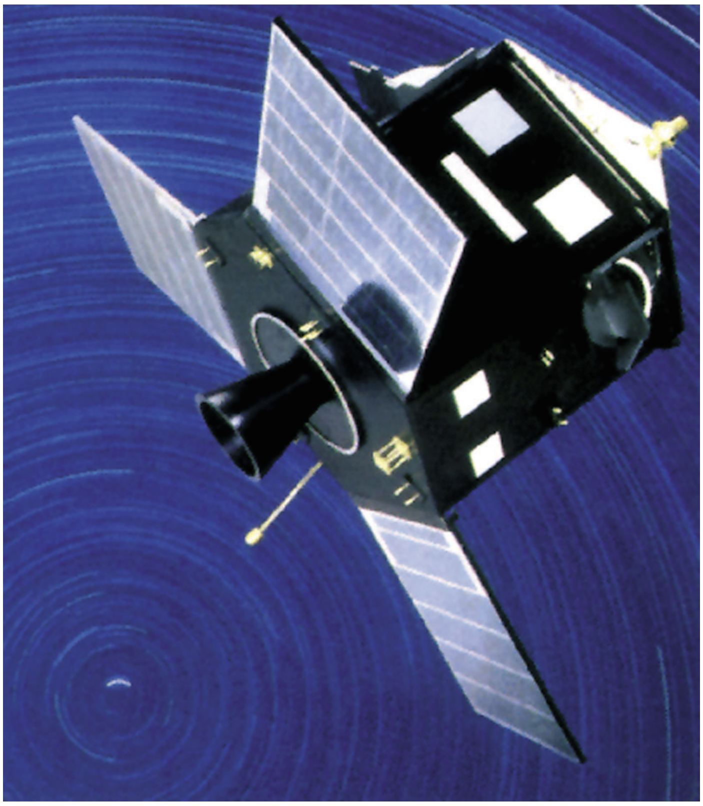
Dessa korta övningsuppgifter är till för att vänja dig vid de nya kvantiteter som just introducerats.

Uppgift AH1

Stjärnan α-Orionis (Betelgeuse) har en apparent magnitud på m=0,45 och en absolut magnitud på M=–5,14.

? Bestäm avståndet till Betelgeuse.

Betelgeuse är den röda stjärnan i Orions vänstra axel (sett från jorden) och är en röd superjätte. När man tittar på den med blotta ögat har den en orange-röd färg.



Figur 4: ESAs satellit HIPPARCOS
Satelliten HIPPARCOS sköts upp på natten den 8 augusti 1989 av en europeisk Ariane 4 raket. Hipparcos huvudsakliga uppgift var att producera en stjärnkatalog med enastående precision. Position och avstånd till ungefär 120000 förvalda stjärnor med magnituder ner till m_B=13 bestämdes med stor noggrannhet. HIPPARCOS slutade arbeta 1993 och den slutliga stjärnkatalogen publicerades 1997.

Foto 1: Betelgeuse (Orion)

Foto 2: Vega (Lyra – Lyran)

Foto 3: Sommartriangeln: (medurs) Deneb (Cygnus – Svanen), Vega (Lyra – Lyran), Altair (Aquila – Örnen)

Foto 4: Sirius (Canis Major - Stora hund)

Uppgift AH2

α-Lyrae (Vega) har en absolut magnitud på 0,58 och befinner sig på avståndet 7,76 parsec.

? Beräkna Vegas apparenta magnitud.

Vega är den ljusaste stjärnan i stjärnbilden Lyra (Lyran) och den övre högra stjärnan i sommartriangeln.

Uppgift AH3

α-Cygni (Deneb) är den övre vänstra stjärnan i sommartriangeln och svanens ljusaste stjärna. Dess apparenta magnitud är 1,25 och avståndet till den är 993 parsec.

? Beräkna den absoluta magnituden. Vad säger dig detta om Denebs natur?

Uppgift AH4

Stjärnan α-Canis Majoris (Sirius) är den ljusaste på himlen. Den befinner sig på ett avstånd av 2,64 parsec och dess apparenta magnitud är −1,44.

? Beräkna Sirius absoluta magnitud. Om du jämför denna med den absoluta magnituden för de tre andra stjärnorna, vad är din bedömning av Sirius verkliga ljusstyrka?

Uppgift AH5

? Om stjärnorna Vega, Sirius, Betelgeuse och Deneb befann sig 10 parsec från jorden (på samma del av himlen), vad skulle vi se?

Uppgift AH6

Den absoluta magnituden, M, är definierad som den apparenta magnitud som en stjärna skulle ha om den befann sig på 10 parsecs avstånd från solen.

? Men vore det inte mer korrekt att mäta avståndet från jorden? Varför spelar det ingen roll om vi mäter avståndet från jorden eller solen?

Luminositet och intensitet

Fram till nu har vi bara talat om stjärnors magnituder, men inte nämnt hur mycket ljusenergi som faktiskt strålas ut från en stjärna. Den totala mängden energi som strålas ut från en stjärna varje sekund är den så kallade luminositeten, L, och den mäts i watt (W) och är ekvivalent med den utstrålade effekten.

Luminositeten och magnituden är relaterade till varandra. En avlägsen stjärna med hög luminositet kan ha samma apparenta magnitud som en närbelägen stjärna med låg luminositet. Om vi vet en stjärnas avstånd och apparenta magnitud kan vi bestämma dess luminositet.

En stjärna strålar ut ljus i alla riktningar så att ljuset är spritt över en sfär. För att finna intensiteten, I, på jorden av ljuset som strålas ut från en stjärna (intensiteten är mängden strålning per enhetsarea) dividerar vi dess luminositet med arean på en sfär med stjärnan i centrum och radien lika med avståndet till jorden, D., se fig 5.

$I = L/(4\pi D^2)$

En stjärnas luminositet kan också mätas som en multipel av solens luminositet, $L_{sol}=3,85 \times 10^{26}$ W. Eftersom solen är "vår" stjärna och den stjärna som är bäst känd, används den nästan alltid som referens.

Med lite algebra finner vi formeln för att beräkna luminositeten, L, för en stjärna relativt solens luminositet:

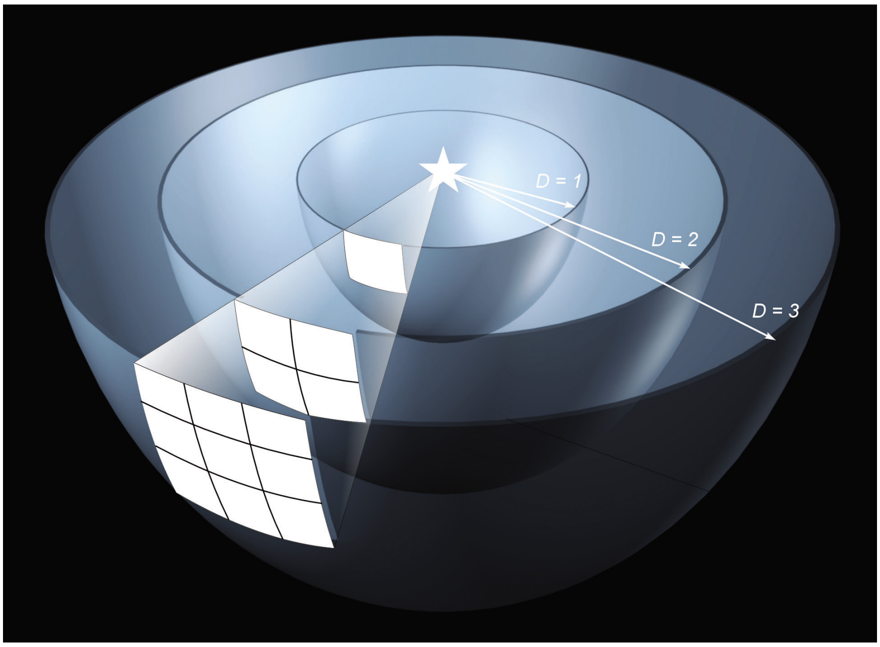
$L/L_{sol} = (D/D_{sol})^2 \cdot I/I_{sol}$

Ration I/I_{sol} kan bestämmas med hjälp av formeln given i stycket om Apparenta magnituder i Astronomiska verktyg ($m_{sol} = -26,5$).

Små vinklar och stora avstånd

Ta en titt på fig. 6:
Om b är liten jämfört med c kan vi anta att de två långa sidorna av triangeln, c, har samma längd som mittlinjen. Med den vanliga ekvationen för rätvinkliga trianglar finner vi:

$\sin(\beta/2) = (b/2)/c$



Figur 5: Ljusets intensitet
Denna skiss visar hur samma mängd strålning från en ljuskälla måste belysa en större och större yta ju större avståndet från källan är. Arean ökar som kvadraten på avståndet från källan vilket innebär att intensiteten minskar med kvadraten på avståndet.

Vi kan använda approximationen om små vinklar, sin x=x, om vi har att göra med väldigt små vinklar (men endast om vi mäter vinklarna i radianer). Approximationen kan verka oberättigad, men kan matematiskt bevisas vara mycket bra för små vinklar.

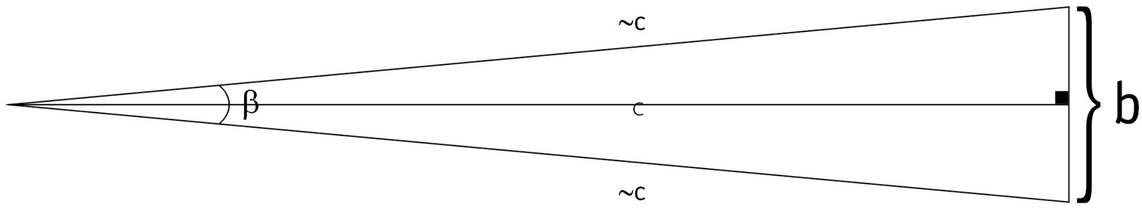
Uppgift MH1

? Prova denna approximation själv genom att beräkna sin(1°), sin(1') och sin(1"). Kom ihåg att du måste konvertera graderna till radianer först.

Nu har du en enkel relation mellan b, c och β utan den trigonometriska funktionen.

$\beta/2 = (b/2)/c$

$c = b/\beta$



Figur 6: Att arbeta med små vinklar
Om b är liten jämfört med c antyder det att β är en liten vinkel. Vi kan därför ta fram en relation mellan b, c, och β utan trigonometriska funktioner.

Enheter och andra grundläggande data

1 bågminut = 1′ = 1/60 av en grad = $2{,}9089 \times 10^{-4}$ radianer
1 bågsekund = 1″ = 1/3600 av en grad = $4{,}8481 \times 10^{-6}$ radianer
1 millibågsekund (mas) = 1/1000 bågsekund
Ljushastigheten (c) = $2{,}997 \times 10^{8}$ m/s
1 parsec (pc) = $3{,}086 \times 10^{13}$ km = 3,26 ljusår
1 kiloparsec (kpc) = 1000 parsec
1 Megaparsec (Mpc) = 10^{6} parsec
1 nanometer (nm) = 10^{-9} m

Lärarens guide innehåller lösningar på de korta övningsuppgifterna.

Uppgift AH1: **D = 131 parsec**

Uppgift AH2: **m = 0.03**

Uppgift AH3: **M = −8.73**

Detta är en ovanligt ljus stjärna.

Uppgift AH4: **M = 1.45**

Jämfört med Deneb (M=–8,73), Betelgeuse (M=–5,14) och Vega (M=0,58) är Sirius faktiskt en ganska svag stjärna. Detta demonstrerar att våra sinnen inte alltid är välutrustade för att kunna detektera den fysikaliska verkligheten runt omkring oss.

Uppgift AH5:

På avståndet 10 parsec skulle Vega och Sirius vara något svagare, men fortfarande tillhöra de starkare stjärnorna på himlen. Däremot skulle både Deneb och Betelgeuse vara mycket starkare än någon annan stjärna på jordens natthimmel.

Uppgift AH6:

Det finns ingen anledning att skilja på mätningar av avstånd från jorden och solen eftersom avståndet mellan jorden och solen är väldigt litet jämfört med 10 parsec.
Om man beräknar skillnaden mellan att använda avståndet till jorden respektive solen när den apparenta magnituden beräknas, får man en skillnad i storleksordningen 10^{-6} mag.

Uppgift MH1:

sin(1°) = sin(0,017453293 rad) = **0,017452406**
sin(1′) = sin(0,000290888 rad) = **0,000290888**
sin(1″) = sin($4,84814 \times 10^{-6}$ rad) = $\mathbf{4,84814 \times 10^{-6}}$

www.astroex.org