



LINDESKOLAN

Avståndsbestämmande till en variabel stjärna

Namn: Saga Bergqvist Widström

Klass: NA20

Handledare: Daniel Larsson

Medbedömare: Pia Kjellander och Lillemor Langarap

Abstract:

Variable stars are important tools for obtaining various information about the universe, whereof one certain data can be obtained: distance. Distance measuring allows astronomers to map the universe. Therefore, the purpose of this work is to determine the location of a specific variable star relative to earth. What is the distance to the Cepheid v0836 Cas?

The distance was acquired through observations along with calculations. A reflector telescope was used to retrieve data about the luminosity of the observed star, which was later saved on a computer. The data was then processed in programmes designed for astronomical purposes and an absolute magnitude and a period was obtained. These data were used to finally calculate the distance

The Cepheid v0836 Cas are, according to the final result, located 2600 pc from earth, which corresponds to about 8500 light years. This distance is shorter than the, through parallax methods, obtained distance from the GAIA satellite. One possible explanation to this deviation lays in an overestimation of interstellar dust between the earth and the observed star.

Sammanfattning:

Variabla stjärnor är viktiga verktyg för att samla olika information om universum.

Informationen kan sedan användas för att ta fram en specifik data: distansen.

Distansmätningar tillåter astronomer att kartlägga universum. Därför är syftet med detta arbete att bestämma var en specifik variabel stjärna befinner sig. Vilket är avståndet till Cepheiden v0836 Cas?

Distansen var erhållen genom observationer tillsammans med beräkningar. Ett reflektorteleskop användes för att samla data om stjärnans luminositet, vilka var senare sparade på en dator. Datan var därefter bearbetad i program designade för astronomiska ändamål och perioden tillsammans med en absolut magnitud togs fram. Dessa data användes till sist för att beräkna avståndet till den variabel stjärnan.

Cepheiden v0836 Cas befinner sig, enligt det slutliga resultatet, 2600 pc från jorden. Vilket motsvarar ungefär 8500 ljusår. Detta avstånd är kortare än det som erhöles från GAIA-satelliten, vilken framtoqs genom parallaxmätningar. En möjlig förklaring till denna avvikelse ligger i en överskattning av interstellärt stoft mellan jorden och den observerade stjärnan.

Innehållsförteckning

Inledning	5
Bakgrund	6
Stjärnor i allmänhet.....	6
Magnituder	7
Variabla stjärnor	8
Cepheider.....	9
Luminositet-period sambandet	10
Fotometri	10
Extinktion	10
Parallax	11
Bildkalibrering.....	12
Avståndsberäkningar	13
Syfte	13
Frågeställning	14
Materiel	14
Några olika mjukvaror som har använts för uppsamlande av data och behandling av dessa.....	14
Metod	15
Resultat	16
Beräkningar	17
Diskussion	18
Slutsats	19
Referenslista	20

Inledning

Utifrån en första glimt av natthimlen kan man anta att alla dess stjärnor är stabila och oföränderliga. Att det enda sätt de förändras på är att de rör sig över himlen under natten. Däremot, vid närmare observationer med hjälp av både ögat och komplicerade teleskop har astronomer genom flera århundraden kunnat fastslå att detta inte är fallet. Det har visat sig att vissa stjärnor skiljer sig från andra stjärnor genom att de varierar i ljusstyrka över tiden och har därför fått det generella namnet variabla stjärnor. (Fabian 1979, 66–87)

Enligt Australia Telescope National Facility (u.å.) har variabla stjärnor flera olika bakomliggande orsaker till ljusvariationerna, varav de vanligaste sker av inre eller yttre faktorer. Detta innebär att anledningen till ljusvariationen antingen har med en stjärnas inre eller yttre miljö att göra. Beroende på om de är inre- eller yttre variabler kan dessa klassificeras i specifika underklasser.

Inom en av dessa underklasser finns en viss typ av variabel stjärna som är Cepheider. Det vill säga variabla stjärnor vars ljusstyrka ändras i takt med att de expanderar och drar ihop sig i regelbundna omgångar. Vad som utmärker dessa stjärnor är att de kan användas som ett utmärkt verktyg för att bestämma avstånd i universum. De är alltså mycket hjälpsamma att kartlägga kosmiska objekt i rymden. Detta gör att Cepheider är ovärderliga för astronomer och därmed även för astronomin. (Percy 2007)

Vid observationer av en variabels ljusstyrka kan diagram med ljuskurvor skapas som visar hur stjärnans magnitud varierar över tiden. Vad som gör dessa speciella är att de innehåller värdefull information som kan avläsas direkt ur diagrammet, som magnitud eller period, eller som i vissa fall kan utnyttjas för att bestämma exempelvis avstånd till stjärnan i sig eller till närliggande kosmiska objekt. (Fabian 1979, 66–87)

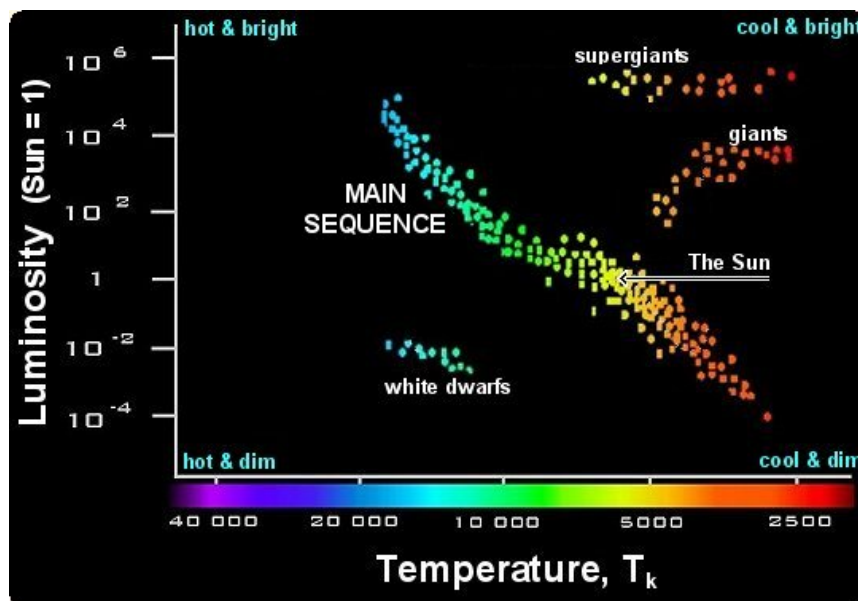
Bakgrund

Stjärnor i allmänhet

En stjärna är en himlakropp vilken består av ett klot av plasma, det vill säga joniserad gas. Stjärnor är bland de tyngsta föremålen i universum, där trycket i kärnan är så stort att fusion (sammansmältning av två partiklar) förekommer. Stjärnan innehåller olika lager av olika ämnen, där lättare ämnen fusioneras till tyngre ämnen så att den frigjorda energin förhindrar stjärnan från att kollapsa under sin egen gravitation. Stjärnans lager har uppkommit från tidigare fusion. (H. F. Ullman 2008, 126–129).

Stjärnor kan delas upp i olika spektralklasser beroende på dess yttemperatur, och därmed även dess färg. Spektralklasserna är O, B, A, F, G, K och M, där O är de varmaste stjärnorna med en blåvit färg, medan M är de svalaste med en röd färg. (Lagerkvist och Lodén 1994, 55–60)

En viktig upptäckt inom astrofysiken var sambandet mellan stjärnors spektralklasser och dess luminositet (mängden ljus som utstrålas per tidsenhet). Detta framställs i ett så kallat Hertzsprung-Russeldiagram där y-axeln är luminositeten och x-axeln spektralklasser alternativt temperatur. Till skillnad från andra diagram är de allra största temperaturerna längst åt vänster, närmast origo. I detta diagram förekommer de allra flesta stjärnorna i huvudserien, vilken är en linje som går från det övre vänstra hörnet till det undre högra hörnet, där de svala och röda stjärnorna befinner sig i den högra änden och de varmaste och blåvita i den vänstra. (H. F. Ullman 2008, 126–129)



Figur 1 Hertzsprung-Russel diagram

Det finns olika typer av stjärnor. Den allra vanligaste typen av stjärnor är de som tillhör huvudsekvensen i Hertzsprung-Russeldiagrammet. Dessa stjärnor bildas av stoft och gas i universum och fusionerar väte till helium i stjärnans mitt. En stjärna som är mindre än åtta gånger solens massa och som får slut på väte att fusionera, kommer att övergå till att fusionera helium till kol. Detta för att kunna stå emot gravitationskraften. När detta händer kommer vätefusionen att spridas till de yttre lagren av stjärnan, som i sin tur expanderar på grund av detta. Då en stjärna antar detta stadie kallas den för en röd jätte. Efter en tid kommer de expanderande, yttre lagren att ha lämnat stjärnan så att bara kärnan kvarstår. Denna typ av stjärna kallas för en vit dvärg och är mycket kompakt. (NASA Science, u.å.)

Om en stjärna däremot är mellan åtta och 20 gånger solens massa och har fusionerat allt väte i kärnan, kommer fusionen att övergå till att fusionera helium till kol, som sedan fusioneras till neon. På detta sätt förvandlas lättare ämnen till tyngre ämnen ända till järn som inte kan fusioneras så att mer energi frigörs, och därmed kollapsar stjärnan hastigt så att en explosion sker. (NASA Science, u.å.)

Utöver dessa typer finns även neutronstjärnor, röda dvärgar och bruna dvärgar.

Neutronstjärnor är kompakta stjärnor som återstår efter en supernova, medan röda dvärgar är små stjärnor i huvudserien som har en mycket lång livstid. Bruna dvärgar däremot har inte tillräckligt med massa för att en fusion ska kunna ske och avger inte mycket visuellt ljus, utan mer i infrarött ljus. (NASA Science, u.å.)

Magnituder

För att observera stjärnor behöver man på olika sätt mäta stjärnors ljusstyrka. Eftersom stjärnor ljus upplevs svagare och svagare för en observatör ju längre avståndet mellan dem är, delas ljusstyrkan upp i två olika delar: apparent magnitud och absolut magnitud. Magnituder är ett mått som används inom astronomin för att mäta ljusstyrkor. Den apparenta magnituden är den ljusstyrka som går att observera från jorden och som därmed mäts med fotometrin, se avsnitt om fotometri. Den skiljer sig ifrån den absoluta magnituden som är den verkliga ljusstyrkan en stjärna har om den skulle befinna sig 10 pc (1 pc (parsec) = 3,26 ljusår) från observatören. Med hjälp av en känd apparent magnitud och känd period kan en absolut magnitud bestämmas, detta gäller bara för Cepheider, se kapitlet om Cepheider. (Lagerkvist och Lodén 1994, 52–53)

Vid observationer mäts ljusets intensitet i olika våglängdsområden. Bessel (2005) skriver om ett fotometriskt våglängdssystem som kallas Johnsson-Cousins. I detta system mäts ljusets

intensitet i fem våglängdsområden, UBVRI. U står för ultraviolett, B för blått, V för visuellt (ögat har maximal känslighet i det gröna våglängdsbandet), R för rött och I för infrarött. Lagerqvist och Lodén (1994) beskriver att stjärnor lyser olika starka i de olika våglängdsområdena. Exempelvis är stjärnan Bellatrix, som är en blå stjärna, mer ljusstark i det blå våglängdsområdet än i de andra. Därför är det intressant att mäta stjärnors ljusstyrka i olika våglängdsområden.

Variabla stjärnor

Vissa stjärnor har inte en stabil och konstant ljusstyrka, utan denna varierar över tiden med mer eller mindre regelbundna kurvor. Dessa stjärnor kallas för variabla stjärnor och har blivit viktiga inom astronomin genom att förse astronomer med information om stjärnan som massa, luminositet, avstånd och diameter. Variationerna beror på olika saker så som inre och yttre faktorer, utifrån vilka de klassificeras i olika grupper. Några av dessa grupper är eruptiva variabler, förmörkelsebinärer, roterande variabler och pulsvariabler. (H. F. Ullman 2008, 138–141)

De ovan nämnda variabeltyperna har alla specifika egenskaper. Medan eruptiva variabler förändras snabbt och plötsligt i ljusstyrka på grund av att inre processer inom stjärnan skapar olika stora utbrott på den, sker ljusstyrkeförändringarna hos en roterande variabel på grund av en ojämn fördelning av solfläckar på stjärnans yta. Dessa solfläckar påverkar stjärnans luminositet då olika sidor av stjärnan ses från jorden under tiden som den roterar.

Förmörkelsebinärer, däremot, är ett binärt stjärnsystem där två stjärnor roterar runt varandra så att systemets totala luminositet förändras mellan de lägen då stjärnorna blockerar varandra och då båda stjärnorna syns helt från jorden. (Australia Telescope National Facility, u.å.)

Pulsvariabler är stjärnor vars sfärer växer och krymper regelbundet så att en skillnad i ljusstyrka kan observeras. Pulsering är alltså astronomers ord för vibrationer eller oscillation. Det finns olika former av pulserande variabler varav den vanligaste är en radiell pulsering där stjärnan expanderar och krymper samtidigt som stjärnans sfäriska symmetri behålls. Inom denna form av radiell variation finns olika underklasser som skiljer sig i expansionens symmetri. (Percy 2007, 136)

Cepheider

En vanlig typ av variabla stjärnor som finns inom gruppen pulserande variabler och som är mycket ljusstarkare än solen, med en temperatur mellan 6000-8000K, kallas för Cepheider. Dessa har perioder på 1 dag till 100 dagar och har stora amplituder, vilket gör de lättobserverade. Cepheider pulserar i olika underklasser av radiell pulsering, vilket skapar dessa betydande ändringarna i ljusstyrka och temperatur, och därmed även färg. Det finns två olika typer av Cepheider: klassiska Cepheider och Population II Cepheider. Medan klassiska Cepheider är unga och massiva, är Population II Cepheider kalla, mindre massiva stjärnor. Gemensamt har de att ljuskurvorna är ganska lika. (Percy 2007, 147)

Cepheider utgör den grupp av variabla stjärnor som har spelat störst roll för utforskandet av stjärnor och universum. Ett samband mellan deras period och luminositet (se kapitlet om Period-Luminositet sambandet) hittades och revolutionerade astronomin på olika sätt som alla har haft ett betydande bidrag. (Percy 2007, 147)

Anledningen till denna stora framgång har med möjligheten att bestämma avstånd till kosmiska objekt lätt. Detta görs med hjälp av magnituder:

Den absoluta magnituden beräknas med en specifik formel av period-luminositets-relationen (se avsnittet om period-luminositets-sambandet) för galaktiska Cepheider, hämtad från Benedict et al. (2007) (The Astronomical Journal 133:1810–1827). Se formeln nedan. ’

$$M_v = a \cdot (\log(P) - 1) + b$$

M_v är den absoluta magnituden i V-bandet (det visuella våglängdsområdet) och P är perioden i dygn, medan a är en riktningskoefficient och där b motsvarar den absoluta magnituden M_v när $\log(P)=1$ dvs $P=10$ dygn (formeln beskriver en rät linje där b motsvarar funktionens värde då linjen skär y-axeln). Båda värdena för a och b finns i tabell 12 på sidan 1821, vilket ger att $a = -2,43$ och $b = -4,05$ för V-bandet. När dessa värden läggs in i formeln fås:

$$M_v = -2,43 \cdot (\log(P) - 1) - 4,05$$

Formeln beror alltså på perioden för den observerade stjärnan. Dessutom är formeln ”kalibrerad” mot parallaxmätningar uppmätta med Hubble Space Telescope. Den, efter observationer och beräkningar, erhållna absoluta magnituden används sedan för att avgöra avståndet till stjärnan, se avsnittet om distansmätningar. (Benedict et al., 2007)

Luminositet-period sambandet

På tidigt 1900-tal upptäckte astronomen Henrietta Leavitt ett viktigt samband mellan absoluta magnituden och perioden hos Cepheid-variabler under observationer av de Magellanska molnen. Eftersom de observerade stjärnorna i Leavitts studier var lokaliserade i samma galax, så låg de även på relativt samma avstånd från jorden. Detta innebar att en skillnad i den apparenta magnituden också medför en skillnad i den absoluta magnituden. Detta, tillsammans med Leavitts resultat från studien, visade sambandet mellan Cepheidernas absoluta ljusstyrka och deras perioder: ju längre perioder Cepheider har, desto ljusstarkare är de. Med hjälp av detta samband kan astronomer idag beräkna avstånd till avlägsna stjärnor och galaxer och därmed kartlägga universum. (Australia Telescope National Facility, u.å.)

Fotometri

För att möjliggöra en mätning av stjärnors magnituder använder astronomer en metod som kallas för fotometri. Den här metoden går ut på att en elektrisk kamera ofta med CCD-sensor används för att fota av det område av natthimlen som man vill observera. I CCD-kameran finns mikroskopiska, ljuskänsliga pixlar som består av material som frigör elektroner till följd av att fotoner från de observerade objekten träffar pixlarna. Metoden utnyttjar att mängden frigjorda elektroner är proportionellt mot mängden fotoner. Då CCD-kameran används för en observation, noteras antalet elektroner per pixel som frigörs så att data kan sparas på en dator. Denna data måste korrigeras i första hand för mörkström och plattfält, se kapitlet om kalibrering, för att sedan behandlas med speciella dataprogram och där konverteras till apparenta magnituder, se kapitlet om metod. (Percy 2007, 52–54)

Extinktion

När fotometriska observationer genomförs måste den så kallade extinktionen tas åt hänsyn. Extinktionen är en dämpning av det ljus från kosmiska objekt som når observatören och som orsakas av exempelvis stoftkorn. Partiklarna i de interstellära stoftmolnen är av en storlek jämförbar med våglängden av blått ljus, vilket antingen kan skapa en absorption eller en utspridning av det blåa ljuset. På grund av denna felkälla i astronomiska observationer finns numera många studier av de interstellära stoftmolnen som är till stor hjälp för astronomer vid fotometriska observationer. Eftersom det är de blå våglängderna som påverkas mest av extinktionen kan astronomer även använda infraröda filter och därmed observera kosmiska

objekt belägna bakom ett stoftmoln inom de rödare våglängderna. (Cosmos, the SAO Encyclopedia, u.å.)

Effekten av extinktionen kallas för interstellär förrödning (interstellar reddening), ett fenomen som uppkommer på grund av att extinktionen beror på våglängder också. Kortvågigt, blått ljus sprids mycket mer av stoftet än vad det långvågiga, röda ljuset gör. Detta innebär att ju längre bort en stjärna ligger, desto rödare kommer den att upplevas. Interstellär förrödning mäts som en färgexcess och skrivs som $E(B-V)$. Färgexcessen definieras som det observerade färgindexet $(B-V)_{\text{observerad}}$ subtraherat med det verkliga färgindexet $(B-V)_{\text{verklig}}$ hos stjärnan. Ett färgindex är ett mått på stjärnans färg.

$$E(B - V) = (B - V)_{\text{observerad}} - (B - V)_{\text{verklig}}$$

Med den empiriska formeln nedan kan förrödningen uppskattas med hjälp av uppmätt $(B-V)$ vid maximum $((B-V)_{\text{vid max}})$, variabelns ljusstyrkeamplitud i V-bandet (V_{amplitud}) och stjärnans avstånd ($\log(P)$). Detta för att det är svårt att veta stjärnans verkliga färgindex om man inte har tillgång till spektralanalys.

$$E(B - V) = (B - V)_{\text{vid max}} - 0,387 + 0,302 \cdot V_{\text{amplitud}} - 0,318 \cdot \log(P)$$

Den erhållna färgexcessen kan användas i en ytterligare formel, se ekvationen nedan, där $R=3,1$ och är ett medelvärde för extinktionen i det interstellära mediet. $A(V)$ är det totala magnituddroppet i V-bandet orsakat av färgexcessen.

$$R = \frac{A(V)}{E(B - V)} \Leftrightarrow A(V) = R \cdot E(B - V) = 3,1 \cdot E(B - V)$$

Med formeln ovan kan det totala magnituddroppet beräknas. Det erhållna värdet subtraheras därefter från den mätta apparenta magnituden, som sedan används i avståndsberäkningen (se avsnittet om avståndsberäkning) för att få det verkliga avståndet där extinktionen är medräknad. (Fitzpatrick 1999, 63–75)

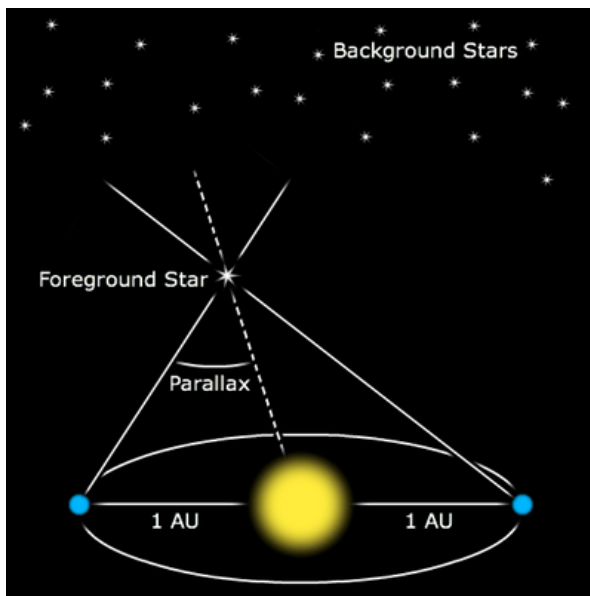
Parallax

Parallax är förändringen av ett kosmiskt objekts position orsakat av förändringen av observatörens position, mätt i bågsekunder (enhet: 1 as). När observatören flyttar sig i förhållande till objektet kommer stjärnan i sin tur att flytta sig lite på bakgrunden av stjärnhimlen, vilket, för en observatör på jorden, kommer orsaka att objektet rör sig i mycket små cirklar på stjärnhimlen eftersom jorden rör sig i en cirkel runt solen. Detta fenomen är

liksom Leavitts samband mellan en stjärnas luminositet och period ett viktigt redskap när man ska bestämma avståndet till det kosmiska objektet. (Lucas och Pultarova, 2022)

Det finns två olika typer av parallaxer som tillämpas beroende på storleken av avståndet till det kosmiska objekt som ska avståndsbestämmas. Det ena används vid avståndsbestämning inom solsystemet och kallas för dagsparallax, medan det andra används för mer avlägsna objekt, som de närmaste stjärnorna och kallas för årlig parallax. (Nationalencyklopedin, u.å.)

Enligt GAIA-satellitens bästa värde är parallaxen för v0836 Cas ca 0,2765 milli bågsekunder enligt GAIA DR3 (data release 3, 2022).



Figur 2 Illustration av parallax.

Bildkalibrering

När en bild hämtas direkt från en digital astronomisk kamera kan bilden innehålla vissa typer av ljussignaler som inte kommer från det observerade objektet, utan från kameran själv. Dessa felsignaler kan åtgärdas genom ett antal metoder. (Hermansson, 2023)

En av dessa felsignaler är defekta pixlar som blir över- eller underexponerade alternativt att exempelvis värmekällor i kameran, som små elektroniska förstärkare, avger svag infraröd strålning som kan exponera pixlar som ligger nära dessa värmepunkter. Denna felkälla kallas för mörkström och elimineras genom att man tar en ytterligare bild, med stängd slutare i kameran och med samma exponeringstid. Den erhållna bilden kallas för mörkströmsbild (alternativt dark frame) och subtraheras från råbilden. (Hermansson, 2023)

Ytterligare kan en ojämn belysning av chippet i kameran förekomma. Detta kan antingen orsakas av en så kallad vignettering alternativt att dammkorn orsakar skuggor på chippet. Vignettering är när chippet blir svagare belyst mot kanterna på grund av kompromisser i det optiska systemet. För att lösa detta låter man en jämnt belyst vit yta, placerad framför teleskopets öppning, exponeras av teleskopet så att en plattfältsbild (flat frames) tas. På plattfältsbilden syns nu den eventuella vignetteringen eller skuggningar från dammkorn. Slutligen divideras den mörkströmssubtraherade bilden med plattfältsbilden så att alla former av felaktiga ljussignaler elimineras. (Hermansson, 2023)

Utöver dessa kalibreringar används ofta medelvärdestekniker där ett flertal bilder tas efter varandra av det observerade objektet för att sedan slås ihop till ett slags medelvärde. Detta används för att förbättra signal till brusförhållandet speciellt för svaga objekt. (Hermansson, 2023)

Avståndsberäkningar

För att beräkna avståndet till den observerade stjärnan använder man en formel som kallas för avståndsmodulen, där M är den absoluta magnituden, m är den apparenta magnituden och d är avståndet mätt i parsec. Se formeln nedan. Denna formel bygger på att det inte finns någon absorberande materia som orsakar extinktion mellan observatören och det observerade objektet. (Wallenquist, 1962)

$$m - M = 5 \cdot \log(d) - 5$$

Genom utveckling av formeln bryts avståndet d ut:

$$d = 10^{\frac{m-M+5}{5}}$$

Med denna formel beräknas slutligen avståndet.

Syfte

Syftet med den här undersökningen är att ta reda på avståndet till den variabla stjärnan v0836 Cas med hjälp av avståndsmodulen för Cepheider.

Frågeställning

Vilket avstånd är det från jorden till den variabla stjärnan v0836 Cas i stjärnbilden Cassiopeia?

Materiel

Samtligt materiel som använts i undersökningen har tillhandahållits av föreningen Uppsala amatörastronomer (UAA) och är stationerat på Sandvretens observatorium, Uppsala.

Teleskopet som använts vid observationerna är ett spegelteleskop och är av typen Ritchey-Chrétien tillverkat av Optical Guidance Systems, USA, se figur 3. Huvudspegelns diameter är 41 cm och har ett öppningsförhållande på f/9. Teleskopet är försett med en digitalkamera av märket Santa Barbara Instrument Group (SBIG) och modellen är STL-6303E. Denna kamera är specifikt ämnad för astronomiska ändamål. Sensorn i kameran är av CCD-typ och av märket Kodak. I kameran finns även 4 stycken Schuler fotometriska filter som är genomsläppliga för ljus i våglängdsbanden B, V, R och I (blått, visuellt, rött och nära infrarött). Det fotometriska systemet är Johnson-Cousins.



Figur 3 Spegelteleskopet som användes vid observationerna. Teleskopet tillhandahålls av Uppsala Amatörastronomer (UAA).

Några olika mjukvaror som har använts för uppsamlande av data och behandling av dessa

Maxim DL från Cyanogen Imaging både kontrollerar teleskopet och dess kamera samtidigt som det gör grundkalibreringen av bilderna beträffande mörkström och plattfält. Se avsnitt om bildkalibrering.

För att göra fotometrin och skapa observationsrapporter har programmet VPhot på AAVSO:s (The American Association of Variable Star Observers) hemsida använts. Programmet jämför den observerade stjärnan med både en referensstjärna och en kontrollstjärna i syftet att bestämma den observerade stjärnans ljusstyrka relativt jämförelsestjärnan.

Ett annat program vid namn VStar, som också finns på AAVSO:s hemsida, har använts för att hitta periodtider genom att analysera den erhållna datan med hjälp av frekvensanalysmetoder (FFT-metoder). Då en period har funnits kan programmet skapa ett fasdiagram av datan, där x-axeln är graderad med fas istället för tid, genom att förskjuta data från olika observationsnätter.

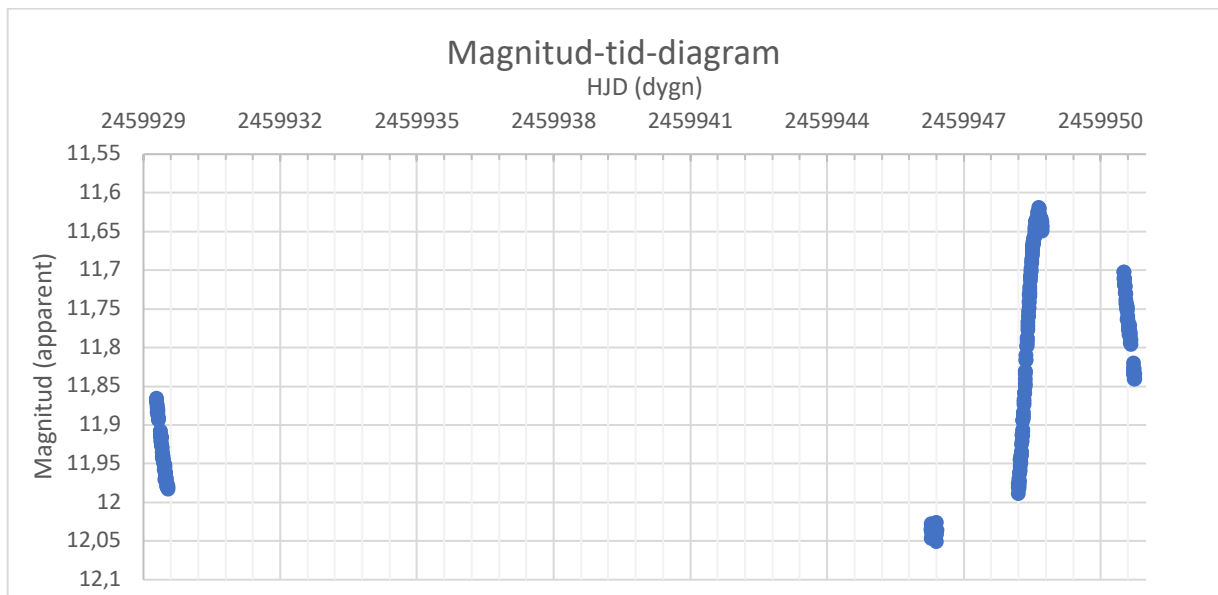
Metod

Med hjälp av teleskopet fotograferades den klassiska Cepheiden v0836 Cas i V- och B-filter under fyra nätter. Teleskopet programmerades att följa stjärnan under nätterna för att repetitivt ta bilder. Exponeringstiderna var en minut i V-filter och två minuter i B-filter. Teleskopet programmerades till att göra automatiska fokuseringar var sextionde minut för att korrigera för fokusfel som kan uppstå på grund av temperaturförändringar under natten. Bilderna kalibrerades och sparades automatiskt på en dator. Observatoriet var även programmerat att stängas om vädret skulle försämrats eller när gryningen kom.

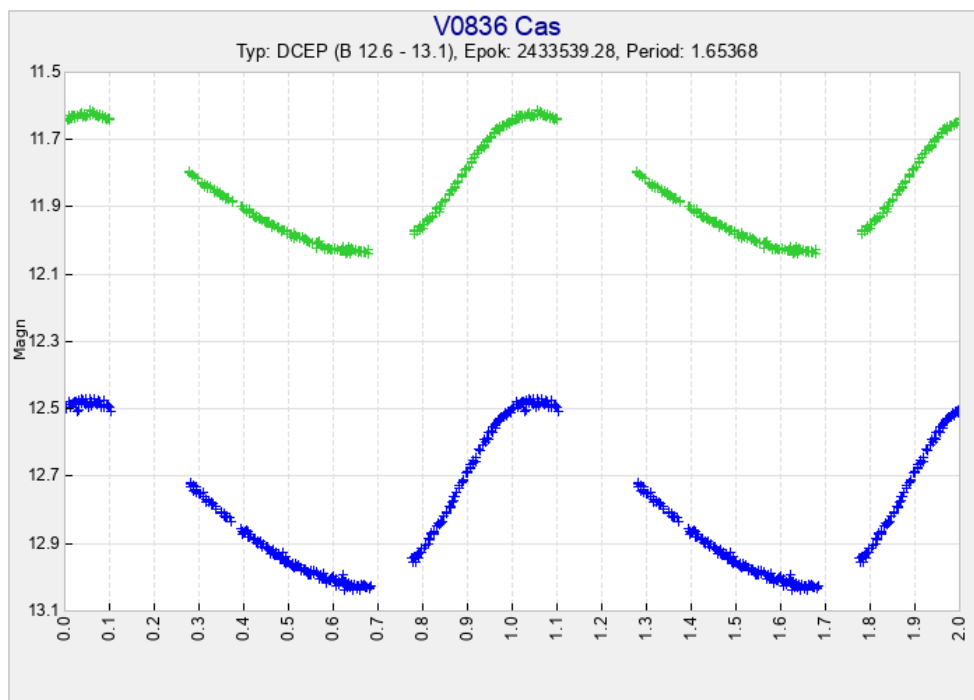
Dagen efter laddades bilderna upp i VPhot för fotometri. I VPhot genererades datafiler med målstjärnans apparenta magnitud som funktion av tidpunkt. Vissa datapunkter fick elimineras manuellt där det var tydligt att exempelvis moln hade gett störningar i datan. Därefter importerades datan till programmet VStar där periodanalysen gjordes och ett fasdiagram skapades.

Med känd period och apparent ljusstyrka kunde den absoluta magnituden för stjärnan bestämmas genom period-luminositetsrelationen. Slutligen bestämdes avståndet till v0836 Cas med utgångspunkt från den apparenta magnituden och den absoluta magnituden.

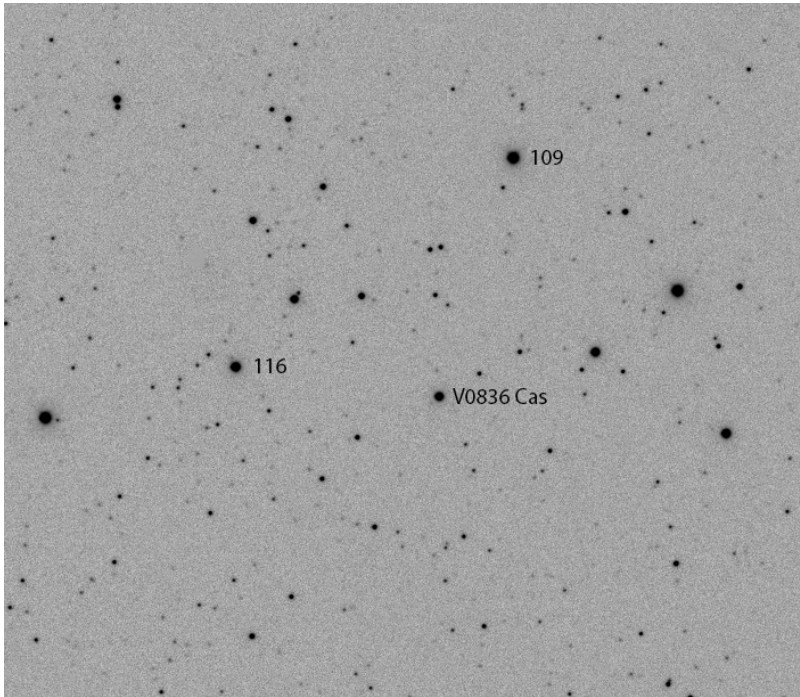
Resultat



Tabell 1, magnitud-tid-diagram. HJD=heliocentriskt julianskt dagtal. Diagrammet visar rådata i V-filter som funktion av tidpunkten för observationerna.



Tabell 2, fasdiagram. Diagrammet visar V-data (grön kurva) och B-data (blå kurva) som ett fasdiagram med två hela perioder. De olika kvällarnas mätningar har förskjutits med $n \cdot P$ där n är ett heltal och P är perioden som kommit fram i frekvensanalysen.



Figur 4 Inzoomad bild av v0836 Cas, jämförelsestjärnan (109) och kontrollstjärnan (116).

	Observerade värden
Period (P)	1,654 dygn
Apparent medelmagnitud (m)	11,83
$(B-V)_{\text{vid max}}$	0,95
V_{Amplitud}	0,42

Beräkningar

$$M_v = -2,43 \cdot (\log(P) - 1) - 4,05 = -2,43 \cdot (\log(1,654) - 1) - 4,05 = -2,15$$

$$\begin{aligned} E(B - V) &= (B - V)_{\text{vid max}} - 0,387 + 0,302 \cdot V_{\text{amplitud}} - 0,318 \cdot \log(P) \\ &= 0,95 - 0,387 + 0,302 \cdot 0,42 - 0,318 \cdot \log(1,654) = 0,62 \end{aligned}$$

Utan hänsyn till extinktion:

$$d = 10^{\frac{m_{\text{observerad}} - M_v + 5}{5}} = 10^{\frac{11,83 - (-2,15) + 5}{5}} \approx 6252 \text{ pc} \approx 6250 \text{ pc}$$

Med hänsyn till extinktion:

$$A(V) = 3,1 \cdot E(B - V) = 3,1 \cdot 0,62 = 1,92$$

$$m_{\text{verklig}} = m_{\text{observerad}} - A(V) = 11,83 - 1,92 \approx 9,9$$

$$d_{\text{verklig}} = 10^{\frac{m_{\text{verklig}} - M_v + 5}{5}} = 10^{\frac{9,9 - (-2,15) + 5}{5}} \approx 2570 \text{ pc} \approx 2600 \text{ pc}$$

Diskussion

Genom ovan beräkningar erhöles resultatet att v0836 Cas ligger ca 8500 ljusår från jorden, vilket besvarar min frågeställning om avståndet till stjärnan. Däremot avviker detta värde ifrån det genom parallaxen uppmätta avståndet från GAIA-satelliten. Parallaxen för v0836 Cas ($0,2765 \text{ m as} = 0,2765 \cdot 10^{-3} \text{ as}$) ger att avståndet d är 3600 pc, vilket motsvarar ungefär 11 742 ljusår.

Denna metod påverkas inte av någon extinktion, utan enbart på förändringen i position. Därför är detta ett mer tillförlitligt avstånd som kan användas som ett jämförelsetal. Eftersom detta värde och laborationens värde inte stämmer överens med varandra innebär det att felkällan ligger hos laborationens metod. Avvikelsen mellan värdena är så stor som 1000 pc, vilket i astronomiska sammanhang är relativt långt. Därför är det intressant att se vad som kan ha orsakat denna avvikelse.

En av de främsta anledningarna till att värdena skiljer sig åt så pass mycket är uppskattningen av extinktionen. Det vill säga att den uppskattade mängden interstellärt stoft som verkligen finns i siktlinjen till vår stjärna är felaktig och i detta fall har den överskattats eftersom resultatet visar ett kortare avstånd än vad GAIA-satelliten gör. Om beräkningarna utförs baklänges med avståndet 3600 pc, fås ett annat värde på det totala magnituddroppet orsakat av extinktionen: $A(V) = 1,2$. Detta visar att subtraktionen av laborationens framtagna magnituddropp från de apparenta medelmagnituden gav ett för lågt värde på denna magnitud, och därmed antogs att stjärnan var ljusstarkare än vad den faktiskt är. På grund av denna felaktiga uppskattning av extinktionen beräknades v0836 Cas att ligga för nära jorden än vad den verkligen gör.

Andra felfaktorer som kan ha orsakat denna avvikelse är sådana som har med teleskopet och mätutrustningen att göra. Det kan ha varit allt ifrån tunna moln som har varit i vägen för stjärnan till ett felantagande om jämförelsestjärnans ljusstyrka. Dessutom kan det förekomma pixeldefekter som inte eliminerades genom kalibreringen. Enbart dessa felfaktorer kan orsaka en feluppskattning av den observerade stjärnans magnitud upp till 0,1 magnituder. Detta innebär att den uppmätta medelmagnituden på den variabla stjärnan har ett fel på runt $\pm 0,05$ magnituder. Alltså kan felkällor som sker i samband med observationen ge relativt stora felkällor. Däremot är feluppskattningen av extinktionen en betydligt större felkälla.

Slutsats

Utifrån observationerna och beräkningarna i denna laboration bestämdes att den variabla stjärnan v0836 Cas ligger ca 8500 ljusår bort från jorden. Det erhållna resultatet avviker lite ifrån ett mer exakt värde från tidigare parallaxmätningar, vilket bland annat är orsakat av felaktiga extinktionsuppskattningar.

Referenslista

Gregersen, Erik. 2009. Luminosity. *Britannica*.

<https://www.britannica.com/science/luminosity> (hämtad 2023-03-17)

NASA. [u.å.]. *Stars*. <https://universe.nasa.gov/stars/types/> (hämtad 2023-03-17)

Bessel, Michael S. 2005. Standard Photometric Systems. The Australian National University.

<https://sites.astro.caltech.edu/~george/ay122/Bessel2005ARAA43p293.pdf> (hämtad 2023-03-13)

Australia Telescope National Facility. [u.å.]. *Variable Stars*.

https://www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/variable_types.html (hämtad 2023-03-20)

Australia Telescope National Facility. *Cepheid Variable Stars & Distance Determination*.

https://www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/variable_cepheids.html (hämtad 2023-03-12)

Cosmos – The SAO Encyclopedia of Astronomy. [u.å.]. *Extinction*.

<https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/e/Extinction> (hämtad 2023-02-13)

Nationalencyklopedin. [u.å.]. *Parallax*.

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/parallax> (hämtad 2023-03-13)

Lucas, Jim; Pultarova, Tereza. 2022. What Is Parallax? *Space.com*. 11 januari.

<https://www.space.com/30417-parallax.html> (hämtad 2023-02-13)

Australia Telescope National Facility. [u.å.]. *Variable Stars*.

https://www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/variable_types.html (hämtad 2023-03-27)

Fitzpatrick, L. Edward. 1999. Correcting for the Effects of Interstellar Extinction. Diss,

Villanova University. <https://doi.org/10.1086/316293>

Fabian, A., Icke, V., Jones, B., Jones, J., Mackay, C., Madore, B., Madore, K., Mitton, J., Mitton, S., Owen, P., Percy, J. R., Pringle, J., Stewart, P., Webster, A., Whelan, J., Wynn-Williams, G. 1979. *Astronomi: Det internationella standardverket om universum sammanställt vid universitetet i Cambridge*. 2. Stockholm: Bonniers.

Watson, Fred. (Chefskonsult). 2007. *Astronomica: Galaxer, Stjärnor, Planeter, Rymdfärder*. Hf Ullman Publishing.

Lagerkvist, Claes-Ingvar; Lodén, Kerstin. 1995. *Planeter, Stjärnor, Galaxer: Grundläggande astronomi*. Stockholm: Liber Utbildning.

Percy, John R. 2007. *Understanding Variable Stars*. Cambridge: Cambridge University Press & Assessment.

Wallenquist, Åke. 1962. *Astronomiskt lexikon*. Stockholm: Prisma.

Lars Hermansson; ordförande i Uppsala Amatörastronomer. Muntligt. 2023.

Benedict et al. 2007. *The Astronomical Journal*. Vol 133.

Bilagor:

Figur 1: Western Washington University. 2022.

https://www.wwu.edu/astro101/a101_hrddiagram.shtml (Hämtad 2023-03-13)

Figur 2: IOWA: Physics and Astronomy. 2023. <https://itu.physics.uiowa.edu/glossary/stellar-parallax>