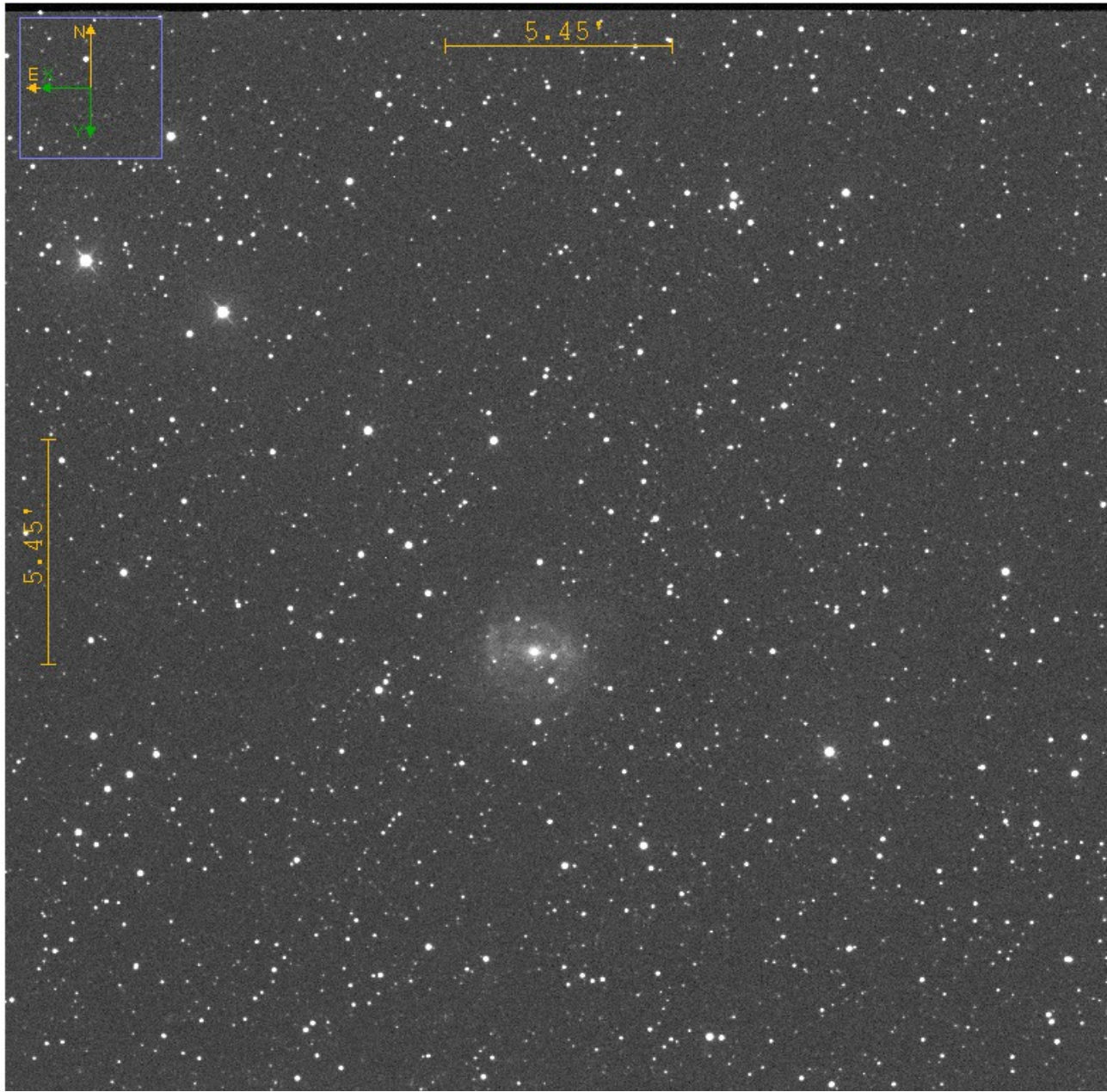


Supernovalyskurve i NGC 5643



NGC 5643. Kilde: LCO.global. [1]

Af Michael A. D. Møller
Rosborg Gymnasium og Hf-kursus
Februar 2025

Lyskurve for supernovaen i NGC5643

Formål

I denne øvelse skal du bestemme en lyskurve for en supernova. Data er vedlagt for SN2017cbv. Dataene og ideen til øvelsen er leveret af Las Cumbres-observatorierne. [1]

Teori

Stjerner, der eksploderer kaldes for supernovaer af typen II. Er den eksploderende stjerne meget stor kaldes eksplosionen en type Ib-eksplosion, og den efterlader også en neutronstjerne. Hvis en hvid dværg eksploderer kaldes eksplosionen for Ia, og den efterlader ingen neutronstjerne. Et eksempel på en lyskurve for forskellige typer supernovaeksplosioner kan ses i illustration 1.

De forskellige typer har hver især ca. en bestemt absolut størrelsesklasse, så man kan bruge dem til at bestemme afstande til fjerntliggende galakser. (Supernovaeksplosionerne sker nærmest altid i en galakse.)

I denne øvelse skal vi prøve at finde toppen af lyskurven for en supernovaeksplosion og derefter finde afstanden til galaksen.¹

Vedlagt i arkivet er 32 billeder af SN2017cbv, som vi antager ligger i galaksen NGC 5643. I billedfeltet er der en stjerne, der kan bruges som referencestjerne, og den har en visuel størrelsesklasse på $V = 13,594$. [7] Det er altså muligt at lave en lyskurve med standard-størrelsesklassen som funktion af tiden.

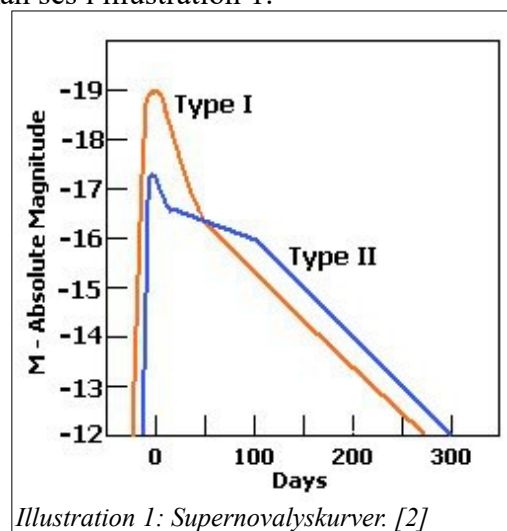


Illustration 1: Supernovalyskurver. [2]

Koordinaterne for hhv supernovaen og referencestjernen er:

$$(RA, DEC)_{SN} = (14^h 32^m 34,42^s; -44^\circ 8' 2,74'')$$

$$(RA, DEC)_{Ref} = (14^h 32^m 21,5^s; -44^\circ 12' 44,6'')$$

Den absolutte størrelsesklasse i V-båndet for supernovaer er anført i tabel 1.

SN Ia	$M_V = -19,45$. [8]
SN II	$M_V = -17 \pm 1$. [9]

Tabel 1: Absolutte størrelsesklasser når en supernova lyser kraftigst. For SN type II er M fundet ved at antage at $H_0 = 68$ km/sMpc. Man kan korrigere til en anden værdi via formlen i boks 1.

Afstandsformlen er som bekendt $m - M = 5 \cdot \log(d) - 5$, hvis vi antager, at der ikke er kosmologisk absorption mellem galaksen og os. Dvs. for det visuelle filterområde kan vi skrive

$$V - M_V = 5 \cdot \log(d) - 5 \Leftrightarrow d = 10^{(V - M_V + 5)/5}.$$

1 Finder man lyskurvedata for en supernova over et langt tidsrum, bliver det muligt at bestemme om der er tale om en SNI eller en SNII ved at analysere formen for lyskurven.

Boks 1 At korrigere absolutte størrelsesklasser for ændret Hubblekonstant

Når man anvender afstandsformlen til at bestemme den absolutte størrelsesklasse, M , for et objekt kræves afstanden naturligvis. Den kan bestemmes ved hjælp af Hubbles lov. Dermed kommer M til at afhænge af Hubble-konstanten, H . Hvis en ny værdi af H bestemmes, ændres bestemmelsen af d og dermed M . Herunder ses en beregning på, hvordan man kan tilpasse tabelværdier for M til nye værdier.

$$v = c \cdot z = H \cdot d \wedge m - M = 5 \cdot \log(d) - 5 \Leftrightarrow m + 5 - 5 \cdot \log\left(\frac{c \cdot z}{H}\right) = M.$$

$$m + 5 - 5 \cdot \log\left(\frac{c \cdot z}{H_1}\right) = M_1 \wedge m + 5 - 5 \cdot \log\left(\frac{c \cdot z}{H_2}\right) = M_2 \Rightarrow$$

$$-5 \cdot \log\left(\frac{c \cdot z}{H_1}\right) + 5 \cdot \log\left(\frac{c \cdot z}{H_2}\right) = M_1 - M_2 \Leftrightarrow$$

$$5 \cdot \log\left(\frac{H_1}{H_2}\right) = M_1 - M_2 \Leftrightarrow$$

$$M_2 = M_1 - 5 \cdot \log\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$$

Lad $H_1 = 57 \text{ km}/(\text{sMpc})$ og $H_2 = 67,3 \text{ km}/(\text{sMpc})$. Så kan vi regne korrektionsleddet ud til at være $-5 \cdot \log\left(\frac{57}{67,3}\right) = 0,36$.

Fremgangsmåde

1. Pak billederne ud og læg dem et passende sted.
2. Åbn AstroImageJ Vælg *File-Import-Image Sequence*. Indlæs billederne.
3. Er billederne ikke tydelige, så tryk på *CTRL-SHIFT-C* og vælg f.eks. Auto for alle billeder. Brug evt. Brightness/Contrast-skyderne i bunden af skærmen. Du kan også i bunden af billedet ændre i det viste interval. Se illustration 3.
4. Du skal nu finde ud af hvor stor blænden til fotometri skal være. Tryk på *Line*-knappen, træk en streg igennem en stjerne, og tryk *CTRL+K*. Du skulle gerne få et billede, der ligner illustration 2. Udmål hvor mange pixler hele stjernen fylder. Radius for fotometri-blænden svarer til det halve af pixelantallet.

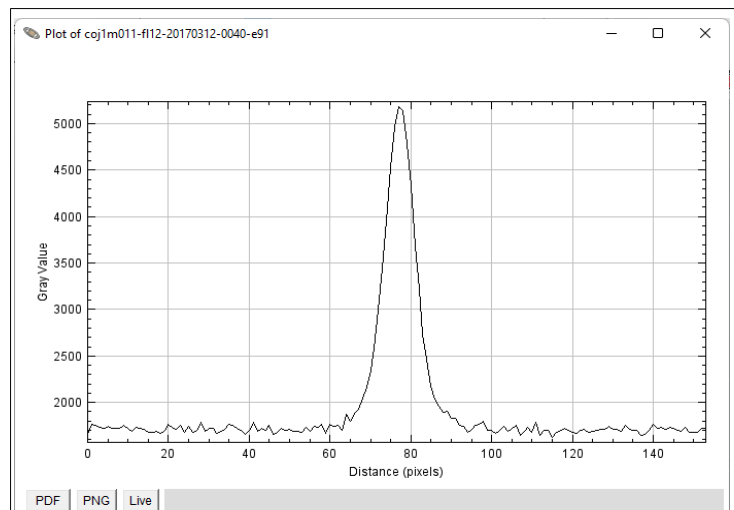


Illustration 2: Et profilplot af en stjerne. Stjernens lys burde i teorien ligge i en enkelt pixel, men i virkeligheden er lyset spredt ud over flere pixler. Det er vigtigt, at man vælger en blændestørrelse, der er stor nok til, at man får målt alt lyset fra stjernen.

5. Tryk på *Photometry*-opsætnings-knappen. (Den første knap på billedet herunder.)

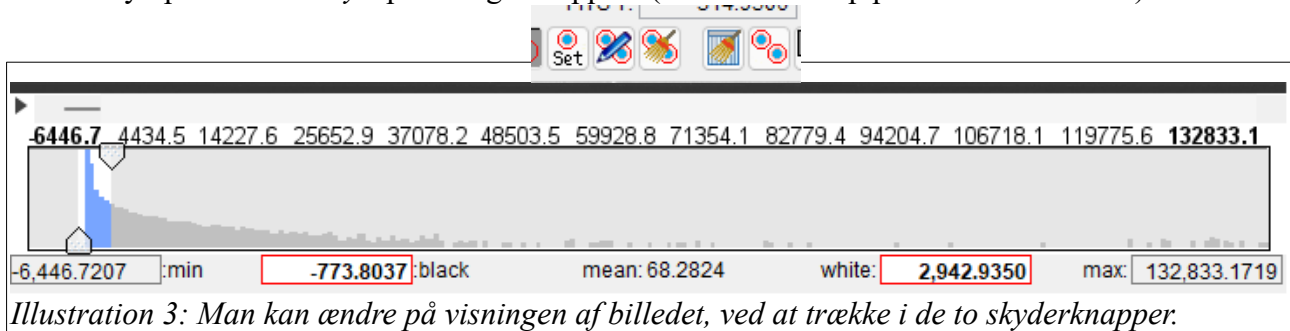


Illustration 3: Man kan ændre på visningen af billedet, ved at trække i de to skyderknapper.

6. Indtast din blænderadius, R , fundet fra punkt 4. Vælg baggrundsradier – f.eks. $R_1 = R+4$ og $R_2 = R + 8$.
7. Indsæt markeringpunkter for referencestjernen og supernovaen ved at indtaste deres koordinater i RA/DEC-felterne. Se illustration 4.
8. Tryk *Multi Aperture Photometry*-knapen. Du kan se hvordan den ser ud ved at kigge på sidste ikon på billedet på side 3. Tjek at radius samt indre- og ydre radius er, som du valgte før. Hak af i *Use RA/Dec to locate aperture positions*. Tryk på *Place Apertures*. (Du kan evt. klikke i midten af alle de foreslåede referencestjerner og dermed fjerne dem, så du i databehandlingen kun får din egen referencestjerne.)
9. Med markøren skal du nu pege på supernovaen og venstreklikke på den.
10. Marker referencestjernen og venstreklik på den. Afslut med at trykke på *Enter*.

Nu undersøges samtlige billeder, og der tegnes en lyskurvegraf.

11. Noter det nr, som referencestjernen fik.
12. Kan du se ud fra grafen hvilken type supernova, der er tale om?
13. Kopier kolonnerne for tid, targetflux og referencestjernens flux ind i et regneark.²
14. Beregn størrelsesklasserne, V , for supernovaen og tegn en (t, V) -kurve.³
15. Aflæs største lysstyrke (mindste V -værdi) og benyt afstandsformlen til at finde afstanden til galaksen. (Overvej hvilken M_V -værdi, du vil bruge.) Tabelværdier for afstanden til NGC5643 er $d_{NGC5643} = 11 \pm 6$ Mpc. [4]

Illustration 4: Indtast koordinaterne for referencestjerne samt supernova i RA og DEC-felterne ovenfor. Afslut hver indtastning ved at trykke på ENTER.

Det videre arbejde

I øvelsen er der ikke taget højde for rødfarvning pga. intra- og intergalaktisk støv. Hvis der er støv, der absorberer noget af lyset, er den faktiske afstand mindre end den beregnede. I retningen mod Lupus er absorptionen fra mælkevejen $A_V = 0,463$. [10].

I øvelsen er det antaget, at supernovaer har en konstant lysstyrke, men det er ikke helt korrekt. Det

² JD-2400000; rel_flux_T1; Source-Sky_T1; Source-Sky_CX, hvor X er nummeret på referencestjernen.

³ Se boks 2 for matematikken bagved beregningerne.

viser sig at for typen SN Ia, varierer lysstyrken, og den korrelerer med, hvor hurtigt lyset aftager. Man kan tage højde for dette problem, hvis man hos <https://archive.lco.global> downloader billeder taget i *B*-båndet, og derefter gentage øvelsen. Korrektionen kan findes ved at bruge den fremgangsmåde, som man kan læse om her: https://en.wikipedia.org/wiki/Phillips_relationship.

Referencestjernens størrelsesklasse i *B*-båndet er i øvrigt $B = 15,144$.

Boks 2 At beregne størrelsesklasserne for målingerne

Teleskopet måler intensiteter, som er proportionale med den faktiske intensitet. Udfra disse intensiteter skal man bestemme instrumentstørrelsesklasser samt kalibrere disse til standardværdier. Herunder følger beregningerne. Vi benytter definitionen af størrelsesklasser og regner for størrelsesklasser i det grønne filterområde, dvs. $m = V$.

$$\begin{aligned}
 m = V &= -2,5 \cdot \log(I) + k \wedge V_{ref} = -2,5 \cdot \log(I_{ref}) + k \Leftrightarrow \\
 V - V_{ref} &= (-2,5 \cdot \log(I) + k) - (-2,5 \cdot \log(I_{ref}) + k) \Leftrightarrow \\
 V - V_{ref} &= -2,5 \cdot (\log(I) - \log(I_{ref})) = -2,5 \cdot \log\left(\frac{I}{I_{ref}}\right) \Leftrightarrow \\
 V &= -2,5 \cdot \log\left(\frac{I}{I_{ref}}\right) + V_{ref} .
 \end{aligned}$$

Ovenfor er antaget, at referencestjernen ligger i samme billede som objektet – derved er eksponeringstiden den samme, og man behøver ikke bekymre sig om ekstinktion, da den er den samme for de to objekter.

Referencer

1. <https://archive.lco.global/>
2. <http://www.uni.edu/morgans/astro/course/Notes/section2/new9.html>
3. "Detection of the Red Giant Branch Stars in M82 Using the Hubble Space Telescope," af Shoko Sakai og Barry F. Madore, Ap. J. **526** pp. 599-606, 199. <http://iopscience.iop.org/0004-637X/526/2/599/fulltext/>
4. <http://ned.ipac.caltech.edu>
5. *The Supernova rate in Star Burst Galaxies* af Michael William Richmond http://stupendous.rit.edu/richmond/snrate_preprint.ps
6. *Planck 2013 Results XVI: Cosmological Parameters*, af P. A. R. Ade et al., Astronomy & Astrophysics manuscript no. draft p. 1011, 22nd March 2013. (C) Eso.org. (Kilden angiver at H_0 er stærkt afhængig af den valgte model.)
7. Aladin, Strassbourg.
8. *Type Ia Supernovae: Bolometric properties and new tools for photometric techniques*. PhD-afhandling af Maximilian Stritzinger, Teknisk universitet München, 2005.
9. *UBVRIZ LIGHT CURVES OF 51 TYPE II SUPERNOVAE* af Lluís Galbany et al, 2016 *Astronomical Journal*, **151**, 33. <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/0004-6256/151/2/33>
10. <https://www.astronomerstelegram.org/?read=10167>