

Entfernungsbestimmung mittels Cepheiden

In diesem Beispiel sollten Sie durch Auswertung von original Hubble-Space-Telescope Daten die Entfernung zur Galaxie M100 bestimmen. M100 ist eine der hellsten Galaxien im Virgo-cluster (siehe Abbildung 1). Cepheiden gehören zu den veränderlichen Sternen mit periodischer Pulsation. Das besondere an den Cepheiden ist, dass es eine Perioden-Leuchtkraft-Beziehung gibt, die uns erlaubt, aus der Pulsationsperiode die absolute Magnitude zu berechnen:

$$M = -2.81 \log_{10}(P) - 1.43 \quad (1)$$

(wobei P der Pulsationsdauer in Tagen entspricht). Gelingt es uns also die Pulsationsdauer und die scheinbare Helligkeit eines Cepheiden zu messen, so können wir seine Entfernung bestimmen (siehe frühere Aufgaben über Magnituden). In M100 hat man mehrere Cepheiden entdeckt, und Beobachtungen an verschiedenen Tagen durchgeführt, um einen Intensitätsverlauf der Cepheiden zu erhalten, aus dem man die Periode ablesen kann. In Abbildung 3 sehen Sie eine typische Lichtkurve eines Cepheiden.

Aufgabe 38: Durchführung der Datenauswertung

Die Daten die Sie bearbeiten werden sind nur ein kleiner Ausschnitt der Galaxie (siehe Abbildung 2). Konkret, sollten Sie Lichtkurven für 3 Cepheiden anfertigen: C22, C25 und C31. Die dazugehörigen Daten finden Sie unter

http://astro-staff.uibk.ac.at/~markus/ex7_data.zip

Die Bilder für die drei Cepheiden sind im Unterordner mit dem jeweiligen Namen gespeichert. Jeder der Ordner enthält 12 Bilder, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommen worden sind. Das Datum ist im Dateinamen in der zweiten Spalte vermerkt. Die Bilder sind in der Astronomie üblichen FITS Format gespeichert.

Um die Bilder auszuwerten, verwenden wir ein einfaches astronomisches Bildbearbeitungsprogramm, SalsaJ, welches Sie sich unter

http://www.euhou.net/docupload/files/software/SalsaJ-2.3/SalsaJ_without_macros_2_3_windows_installer.exe
http://www.euhou.net/docupload/files/software/SalsaJ-2.3/SalsaJ_without_images_2_3_mac.dmg
http://www.euhou.net/docupload/files/software/SalsaJ-2.3/SalsaJ_without_images_2_3_linux.tgz

herunterladen können (je nach Betriebssystem, die .tar.gz ist die Linux Version). Um das Programm auszuführen, muss außerdem JAVA auf Ihrem Computer installiert sein, welches Sie unter

<http://www.java.com/de/download/>

herunterladen können. Falls Sie keinen Computer zur Verfügung haben, können Sie auch die Rechnerräume am ZID benützen.

Bedienung von SalsaJ

Nach dem Start des Programms, müssen wir die Bilder für einen Cepheiden öffnen. Dies funktioniert über

Datei -> Öffnen

gehen Sie in den Entsprechenden Ordner mit den Daten eines Cepheiden, und markieren Alle Bilder und drücken dann OK. Anschließend fügen wir die Bilder zu einer Zeitreihe in einem Fenster zusammen:

Bild -> Stacks -> Images to Stack

Die Bilder wurden jetzt in ein Fenster zusammengefügt, wobei Sie mit der horizontalen Scrollleiste zwischen verschiedenen Bildern wechseln können. Anschließend setzen Sie den Kontrast über

Bild -> Ausrichten -> Brightness/Contrast -> Setzen

Und geben für den kleinsten Wert 0.0 ein und für den größten Wert 40.0. Mit dem Lupensymbol im Programmfenster können Sie das Bild vergrößern, für die Messung empfehlen wir 400 %. Für die eigentliche Messung verwenden wir das Photometrie Tool des Programms. Dieses starten wir über

Analysieren -> Photometrie

und

Analysieren -> Photometrie Einstellungen

In den Photometrie-Einstellungen sollten Sie den Sternradius von automatisch auf den Wert 2 setzen, und den Himmelsradius¹ auf den Wert 4. Außerdem empfehlen wir, die (Pixel)Koordinaten des Sterns von Hand einzugeben. Wenn Sie mit dem Mauszeiger über das Bild fahren, werden die jeweiligen Koordinaten im Programmfenster angezeigt. Die Position der Cepheiden, finden Sie in den Abbildungen 4, 5 und 6. Die Pixel-Koordinaten können sich von Bild zu Bild verschieben, und Sie müssen sich an anderen Sternen orientieren. Falls Sie feststellen, dass unmittelbar neben dem Stern erhöhtes Rauschen auftritt, können Sie den Wert für den Himmelsradius auch erhöhen, um eine bessere Messung zu bekommen.

Nachdem Sie die Koordinaten des Sterns eingegeben haben, und anschließend mit der Maus auf das Bild klicken, wird die Messung durchgeführt, und im Photometrie-Fenster wird der gemessene Wert für die Sternintensität angezeigt. Sie können die Koordinaten variieren und die Messung wiederholen, wenn Sie sich nicht ganz sicher sind, ob Sie die richtigen Pixel-Koordinaten verwendet haben. Tragen Sie anschließend das Ergebnis der Messung in eine Excel-Tabelle ein, sodass Sie nach Durchführung der Messung an allen Bildern eines Cepheiden dort eine Lichtkurve plotten können. Führen Sie diesen Vorgang für alle drei Cepheiden aus.

Auswertung

Wir möchten anmerken, dass die Lichtkurven, die Sie erhalten werden, weit von der idealisierten Lichtkurve in Abbildung 3 abweichen werden, da es sich um echte Daten handelt, die mit Rauschen behaftet sind. Die Intensitätswerte aus der vorher durchgeführten Photometrie können mithilfe folgender Gleichung in eine scheinbare Helligkeit umgewandelt werden:

$$m = 30.2 - 2.5 \log_{10}(I) \quad (2)$$

Hier entspricht I der Intensität, die in der Photometrie gemessen wurde. Da die gemessene Intensität nicht dem physikalischen Energiefluss entspricht, muss das Instrument über einen Standardstern geeicht werden, daher der Wert 30.2 in der Formel.

- Bestimmen Sie die mittlere scheinbare Helligkeit der drei Cepheiden
- Bestimmen Sie aus den Intensitätsmessungen die Periode. Die Qualität der erhaltenen Kurven ist leider weit von einer idealen Messung entfernt, deswegen ist es zugegebenermaßen nicht einfach die Periode genau zu bestimmen, dennoch kann Sie mit etwas Augenmaß sinnvoll geschätzt werden. Berechnen Sie anschließend daraus mit Hilfe von Gleichung 1 die absolute Helligkeit.
- Bestimmen Sie mit Hilfe der vorherigen Ergebnisse die Entfernung von M100.
- M100 zeigt eine Geschwindigkeit entlang der Sichtlinie von 1570 km/s. Bestimmen Sie aus der Entfernung und Fluchtgeschwindigkeit die Hubble-Konstante (durch unsere ungenauen Methoden dürfen Sie nicht erwarten, dass der erhaltene Wert sehr nahe beim heutigen Standardwert liegen muss). Welchen Effekt hat die Eigenbewegung der Galaxie auf die Bestimmung der Hubble-Konstanten?
- Schätzen Sie aus der erhaltenen Hubble-Konstante das Alter des Universums (=Berechnen Sie die Hubblezeit $1/H$). Welche Annahmen werden dabei gemacht?

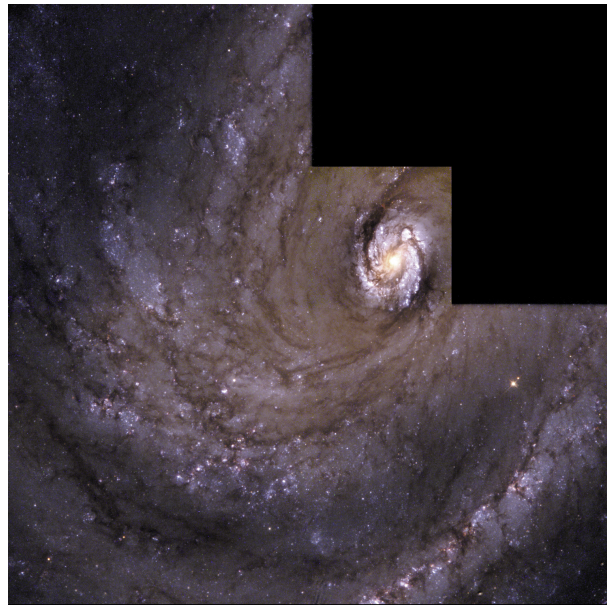


Abbildung 1: HST Aufnahme von M100

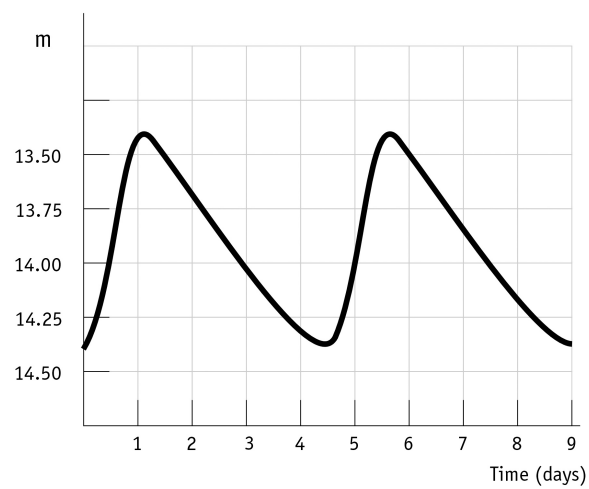


Abbildung 2: Typische Lichtkurve eines Cepheiden

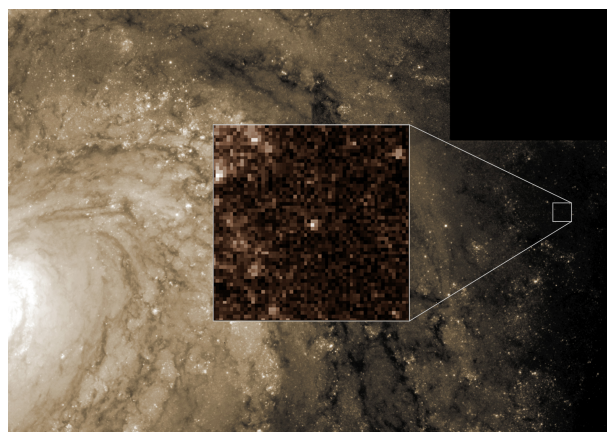


Abbildung 3: Ausschnitt aus M100 mit einem Teil der Daten, die Sie bearbeiten werden

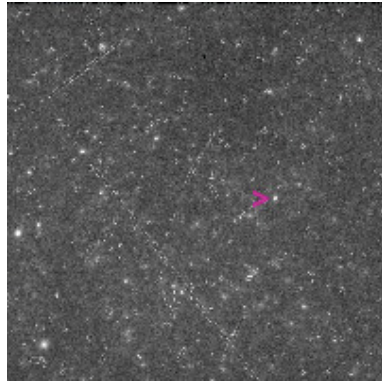


Abbildung 4: Position von C22

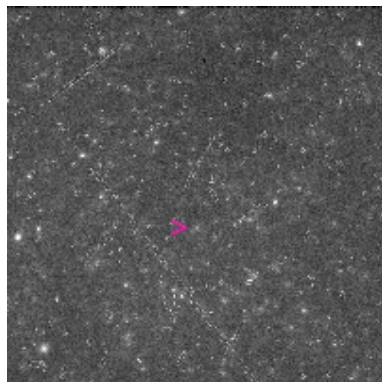


Abbildung 5: Position von C25

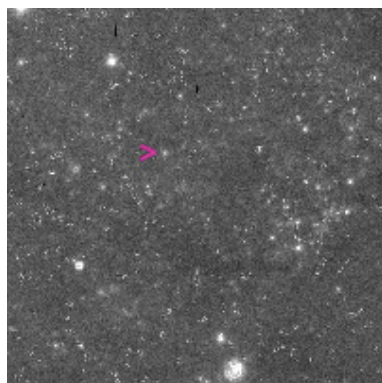


Abbildung 6: Position von C31