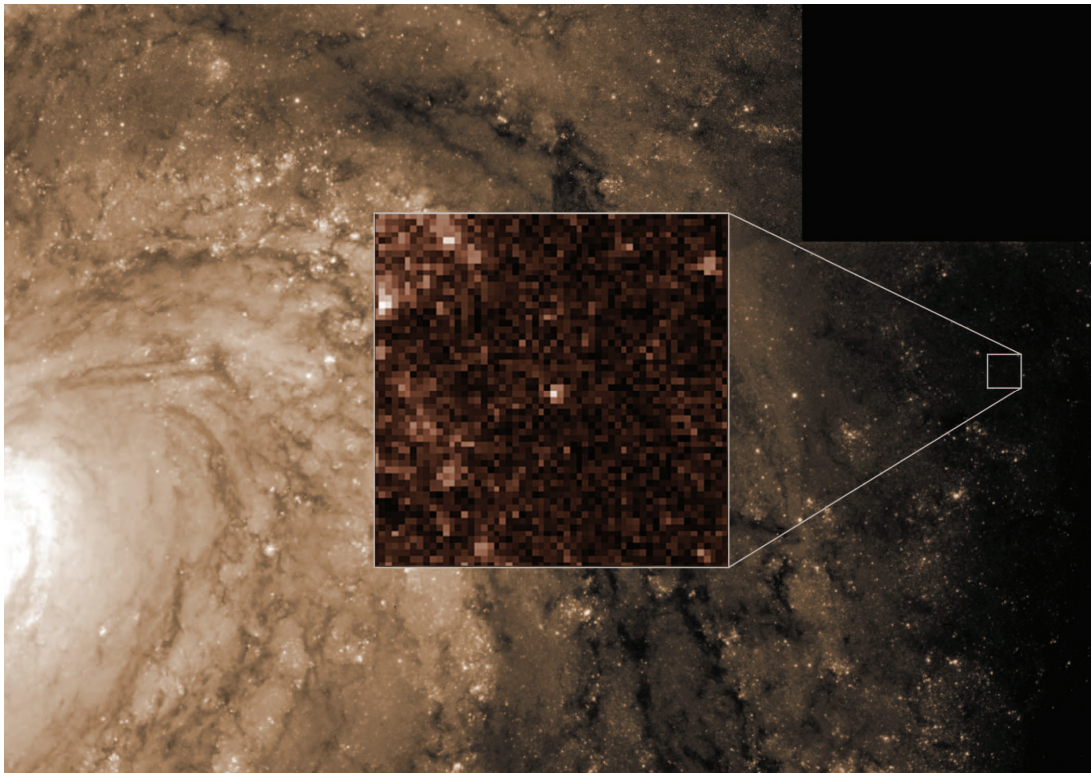


## ЗАДАТАК ЗА ОБРАДУ ПОДАТАКА ЗА РЕПУБЛИЧКО ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ АСТРОНОМИЈЕ 3-4. мај 2025. године

Одређивање удаљености до галаксије М100 помоћу променљивих звезда, типа Цефеиде (укупно 100 поена)

Један од кључних пројеката свемирског телескопа Хабл имао је за дугорочни циљ прецизније одређивање Хаблове константе и старости Универзума. Осамнаест галаксија, које се налазе на различитим удаљеностима, праћено је како би се откриле променљиве звезде, типа Цефеиде. Једна од тих галаксија је М100.

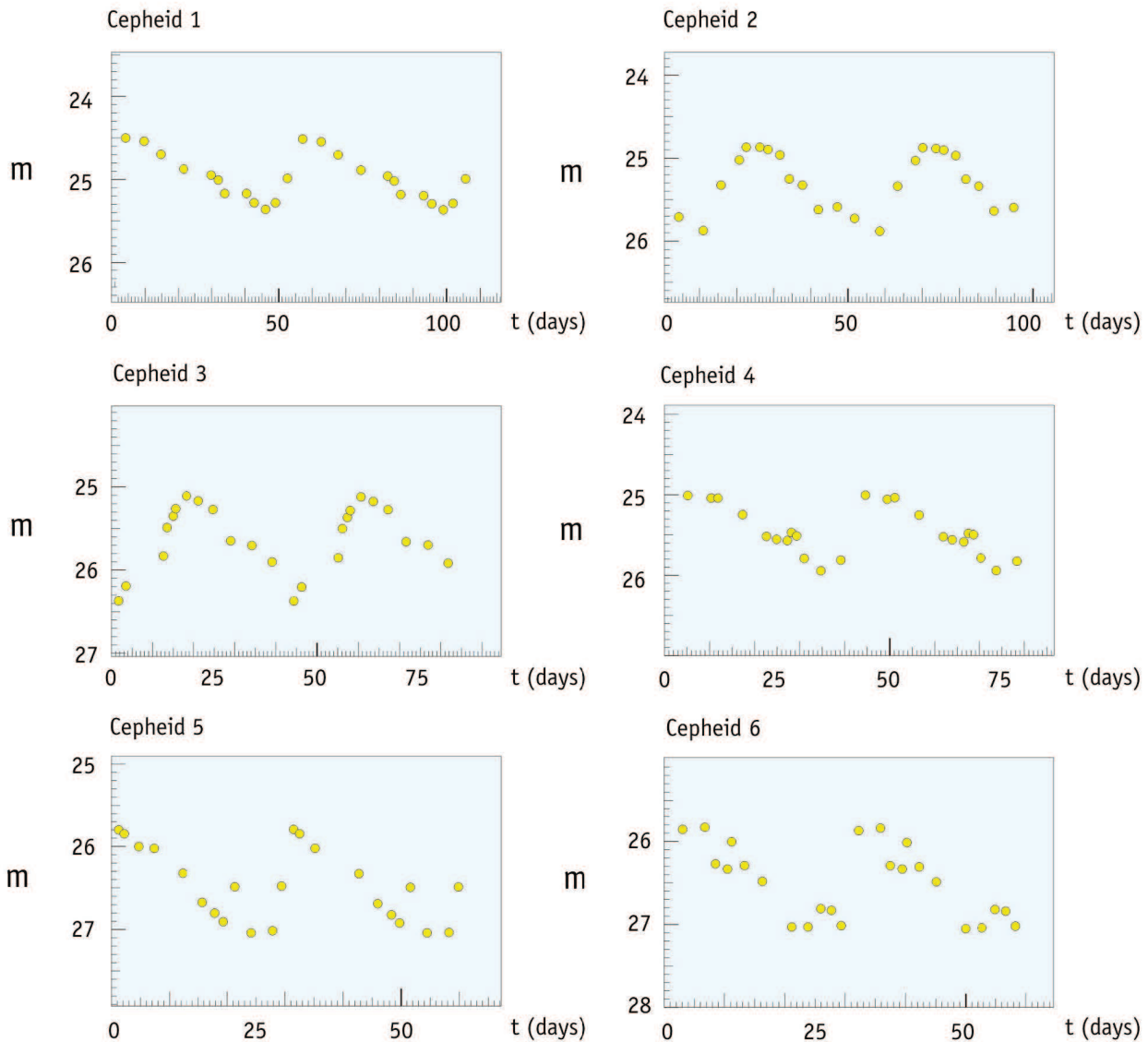


Слика 1: Камера Хабловог свемирског телескопа високе резолуције открила је и издвојила једну од Цефеида, која се користи у овом задатку. Звезда се налази у области у којој се формирају звезде, у једном од спиралних кракова галаксије (звезда се налази у центру означеног правоугаоника).

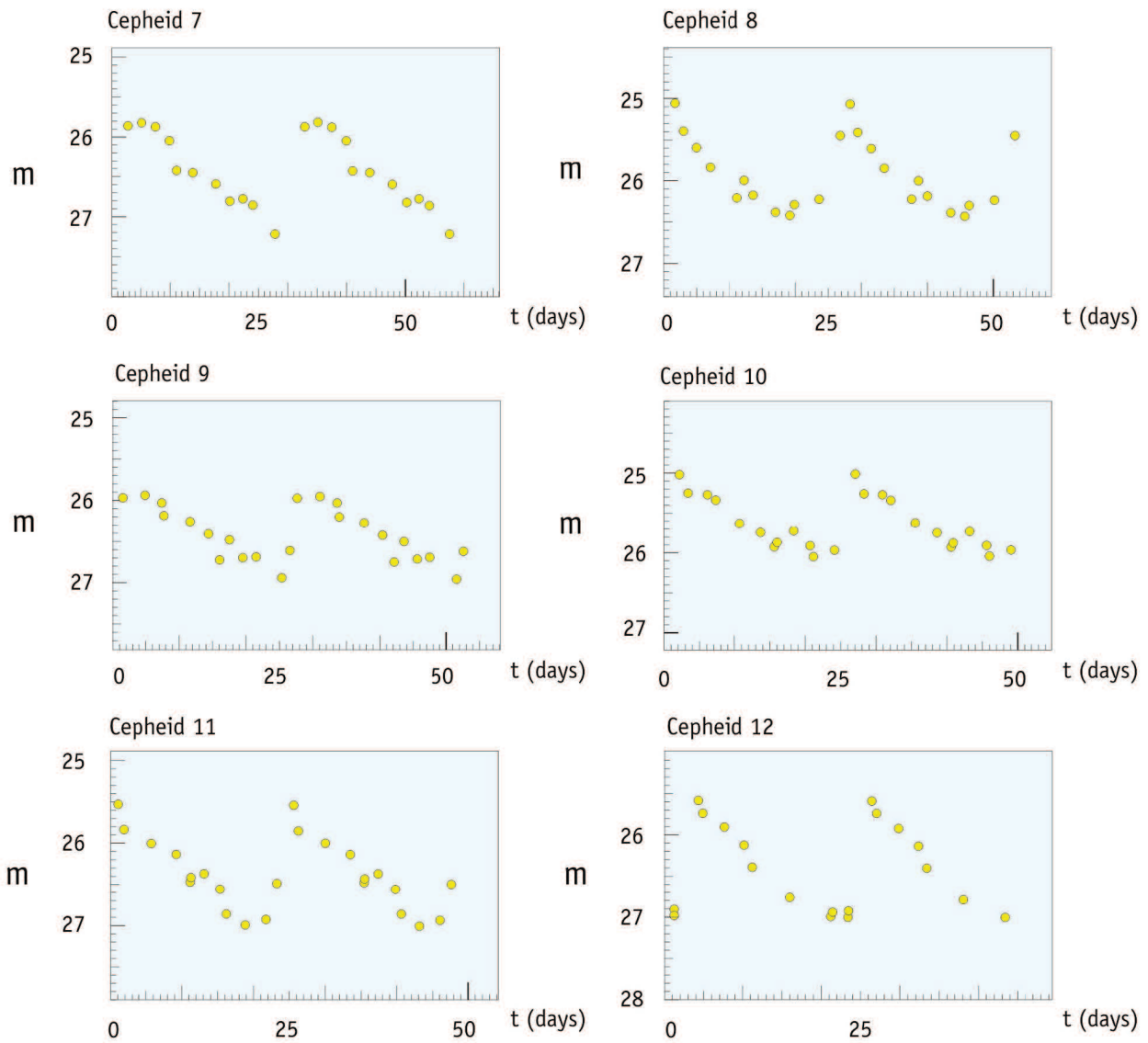
Однос између периода и сјаја за Цефеиде више пута је ревидиран од првих мерења Хенријете Левит. Данас је најбоља процена тог односа:

$$M = -2,78 \log(P) - 1,35$$

где је  $M$  апсолутна магнитуда звезде, а  $P$  период измерен у данима. Светлосне криве за 12 Цефеида у галаксији М100, које су измерене помоћу Хабловог свемирског телескопа, приказане су на сликама 2 и 3.



Слика 2: Криве сјаја за Цефеиде у галаксији М100 које су посматране Хабловим свемирским телескопом (први део). х-оса представља време изражено у данима, у-оса представља магнитуду  $m$ .



Слика 3: Криве сјаја за Цефеиде у галаксији М100 које су посматране Хабловим свемирским телескопом (други део).  $x$ -оса представља време изражено у данима,  $y$ -оса представља магнитуду  $m$ .

1. Користећи информације из ових кривих, израчунај апсолутну магнитуду  $M$  за ових 12 звезда. **(36 поена)**
2. Користећи дате криве сјаја, размисли о методи за процену привидне магнитуде  $m$  и одреди је. **(12 поена)**
3. Израчунај  $\langle m \rangle$  и  $D$  (у мегапарсецима) за сваку Цефеиду. **(24 поена)**
4. Размотри вероватне разлоге зашто не добијаш тачно исте удаљености за различите Цефеиде и напиши одговор. **(4 поена)**
5. Сада сте израчунали удаљеност до дванаест различитих Цефеида у галаксији M100.
  - (а) Да ли то даје удаљеност до саме галаксије M100? **(3 поена)**
  - (б) Да ли би чињеница да дванаест звезда има различите позиције у галаксији M100 могла бити разлог за варијације у удаљеностима ових звезда? **(3 поена)**
  - (ц) Претпостави да је величина M100 слична као величина Млечног пута. Размисли о претходном питању поново? **(3 поена)**

Одговоре за (а), (б) и (в) је потребно образложити.

6. Израчунајте удаљеност до галаксије M100. У оргиниалном научном раду, аутори су приликом одређивања узели у обзир и међузвездану материју, коју Ви занемарујете у овој вежби, и добили су да је удаљеност  $D = 17,1 \pm 1,8$  Мрс. **(5 поена)**
7. Брзина удаљавања,  $v$ , галаксије као што је M100, заједно са подацима о њеној удаљености, може ти дати вредност за општу брзину ширења Универзума, описану Хабловом константом,  $H_0$ . Хаблова константа се изражава у јединицама km/s/Мрс. Брзина удаљавања јата Девица (Virgo Cluster), чији је члан и M100, раније је измерена и износи 1400 km/s (Фридман и сарадници, 1994). Израчунај Хаблову константу користећи ову вредност  $v$  и твоју измерену удаљеност  $D$ . **(5 поена)**
8. Нека је старост Универзума означена са  $t$ :
  - (а) Израчунај вредност  $t$  користећи своје добијене податке? **(4 поена)**
  - (б) Колико пута је већа старост Универзума од старости Земље? **(1 поен)**

## ОДГОВОРИ

1. Циљ је да израчунате удаљеност до M100. Ако се сећате једначине за удаљеност, знаћете да апсолутна магнитуда сама по себи није довољна за израчунавање удаљености - потребна вам је и привидна магнитуда.

Осим проблема у прецизном мерењу количине примљене светлости и калибрацији измерених магнитуда, астрономи су већ сто година расправљали о томе коју привидну магнитуду  $m$ , треба користити у једначини за удаљеност за Цефеиду која заправо варира у магнитуди.

2. На почетку 20. века астрономи су измерили минималну привидну магнитуду ( $m_{min}$ ) и максималну привидну магнитуду ( $m_{max}$ ), а затим су узели просек ( $\langle m \rangle$ ) ове две вредности. Ако то урадите, онда имате све информације које су потребне за израчунавање удаљености до M100. Ако користите неку другу методу, можете добити прецизније податке.
3. Користећи наведени метод под 2) добијају се следеће вредности за задатке 1, 2 и 3 које су представљене у табели:

Cepheid number	t2	t1	period = t2-t1	M	m max	m min	m average	D Mpc	D average Mpc
1	100.0	46.5	53.5	-6.15	24.50	25.30	24.90	16.25	19.85
2	58.5	11.0	47.5	-6.01	24.90	25.90	25.40	19.15	
3	61.0	18.5	42.5	-5.88	25.10	26.40	25.75	21.15	
4	74.0	35.0	39.0	-5.77	25.00	25.95	25.48	17.77	
5	50.0	19.0	31.0	-5.50	25.80	27.05	26.43	24.22	
6	50.0	21.0	29.0	-5.42	25.80	27.10	26.45	23.61	
7	35.0	4.5	30.5	-5.48	25.80	27.20	26.50	24.85	
8	46.0	19.0	27.0	-5.33	25.05	26.40	25.73	16.25	
9	31.0	5.0	26.0	-5.28	25.90	27.00	26.45	22.22	
10	27.0	2.5	24.5	-5.21	25.00	26.10	25.55	14.20	
11	43.0	19.0	24.0	-5.19	25.55	27.00	26.28	19.61	
12	38.0	16.0	22.0	-5.08	25.60	27.00	26.30	18.90	

Бодовање се врши на следећи начин: Одређивање периода (било којом методом ако је у границама  $\pm 10\%$  од датих вредности у табели), заједно са израчунавом магнитудом  $M$  према формули датој у задатку носи 3 поена по Цефеиди. Израчунаво  $m$  са слике носи 1 поен по цефеиди, израчунаво  $\langle m \rangle$  и  $D$  из погсоног закона, користећи добијено  $M$  и  $m$  носи 2 поена по цефеиди. Укупно 72 поена.

4. Разлог који први пада на памет за било које одступање у резултатима је једноставно нормална неизвесност у мерењима. Мерења оваквог типа, која се раде ручно, нису веома прецизна. Тачност би се могла побољшати коришћењем префињенијих метода мерења. **(2 поена)** Алтернативно, могу постојати две различите класе Цефеида које имају врло мале разлике у карактеристикама. **(2 поена)**

5. Одговори су редом:

(а) Да, засновано на (релативно) великом узорку Цефеида, сада имамо разумну процену удаљености до М100. **(3 поена)**

(б) Не, величина галаксије је мала у поређењу са удаљеношћу до М100. **(3 поена)**

(ц) Млечни Пут је приближно 25 крс у пречнику. Одговор на претходно питање је дефинитивно не. **(3 поена)**

6. Са грубим методама које су овде коришћене, вредност од 19,8 Мрс је прилично разумна. **(5 поена)** Питање је постављено да би ученици приметили да грешке мерења чине део многих природних наука, а свакако и астрономије.

7.  $H_0 = v/D = 1400/19,85 = 70,53 \text{ km/s/Mpc}$

**(3+2 поена)**

Ова вредност је у прихватљивим границама. Генерално гледано за  $H_0$  прихватљиво је да се добију вредности између 60 и 80 km/s/Mpc.

8. Овде је битно урадити конверзију из Мрс у km и онда добијамо:

(а)  $H_0 = 2,286 \times 10^{-18} s^{-1}$ . **(2 поена)**

$t = 1/H_0 = 4,375 \times 10^{17} s = 13,87 \times 10^9$  година. **(2 поена)**

(б) Ово је отприлике три пута више од старости Земље (око 4,6 милијарди година). Ово питање је постављено како бисмо ученике подстакли да повежу старост Универзума са нечим што им је већ познато. **(1 поен)**