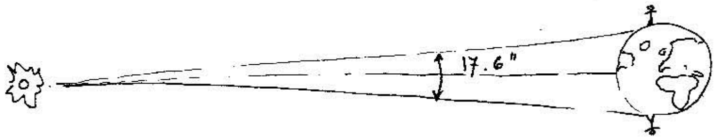
16/10/2002

(1)

אסטרופיסיקה וקוסמולוגיה – פרמטרים אופיינים של כוכבים

מרחק כדו"א – שמש: המרחק המוגדר כ- 1AU (Astronomical Unit)
הוא נחוץ על-מנת למצוא את עוצמת ההארה האבסולוטית של השמש.
מוצאים אותו ע"י פרלקסה משני קצוות כדו"א:



$$1AU * \frac{17.6''}{\underset{''/^\circ}{3600} \cdot \underset{^\circ/rad}{57.3}} = 2 \times 6400\,km \longrightarrow 1AU = 149.6 \times 10^6\,km$$

כמו כן ניתן למצוא את מרחק השמש ע"י מדידה מדויקת של המרחק לנוגה (ונוס) בעזרת מכ"ם.

עוצמת הארה של השמש:

עוצמת ההארה הממוצעת של השמש מחוץ לאטמוספרת כדו"א היא:

$$F_\odot' = 1.376 \times 10^6\, erg/_{cm^2 sec} \equiv \text{Solar constant.}$$

עוצמת ההארה האבסולוטית של השמש היא:

$$\underline{L_\odot} = 4\pi R^2 F_\odot = (4\pi)(1.49\times10^8\times10^5\,cm)^2\, 1.376\times10^6\,\frac{erg}{cm^2 sec} = \underline{3.85\times10^{33}}\,\frac{erg}{sec}$$

מסת השמש:

את מסת השמש ניתן למצוא בעזרת מסלול כדו"א וזמן המחזור (= שנה):

$$\underbrace{M_\oplus \frac{v_\oplus^2}{R}}_{\text{כח צנטריפוגלי}} = \underbrace{\frac{G M_\odot M_\oplus}{R^2}}_{\text{כח משיכה}} \Longrightarrow M_\odot = \frac{(2\pi)^2}{G} \underbrace{\frac{R^3}{P^2}}_{\text{חוק ג' של קפלר}} = \frac{(2\pi)^2 (150\times10^{11})^3}{2.6.67\times10^{-8}(3.2\times10^7)^2}\,gr = 2\times10^{33}\,gr$$

$$+\ v_\oplus = \frac{2\pi R}{P}$$

הגדרת העוצמה היחסית והמגניטודה

עוצמת ההארה מסיגנל, ליח' אורך גל: $f_\lambda = \frac{\text{אנרגיה}}{\text{ליחידת זמן ליח' שטח ליח' אורך גל}}$

עוצמת ההארה הכוללת:

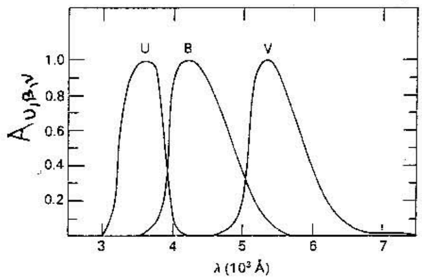
$$f = \int f_\lambda \, d\lambda$$

עוצמת ההארה דרך פילטר F (לדוגמא הדין) תהיה:

$$f_F = \int f_\lambda A_F(\lambda) \, d\lambda$$

$A_F(\lambda)$ היא הענות של פילטר F.

ישנם שלושה פילטרים סטנדרטיים: U - Ultraviolet (3650Å) B - Blue (4400Å), V - Visible (5480Å)



עקום הענות של שלושת הפילטרים הסטנדרטיים

Fig. 1.4. Sensitivity curves for the receiving instruments to measure UBV magnitudes. (From Johnson, 1965.) Böhm-Vitense - מ

המגניטודה m:

המגניטודה (magnitude) מוגדרת באופן הבא:

כאשר מדובר בעוצמת הארה כוללת:

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log_{10} \frac{f_1}{f_2}$$

כאשר מדובר בעוצמת הארה דרך פילטר:

$$m_{1,F} - m_{2,F} = -2.5 \log_{10} \frac{f_{1,F}}{f_{2,F}}$$

מסיבות היסטוריות, נהוג להגדיר:

$$m(Vega^*) = 0$$

בכל פילטר

– Vega או α Lyra הוא הכוכב מהסרט Contact למי שזוכר...

– למעשה, ההגדרה היא לגבי אוסף של כ-100 כוכבים כמו Vega כך ש- $m_F(Vega) = \pm 0.02$

③

סיבת ההגדרה של המגניטודה היא היסטורית. במקורה היא מבוססת על השיטה היוונית העתיקה (הפרקוס) בה לכוכבים היתה בהירות של 0 – 5 כאשר $\Delta m = 1$ היא למעשה רגישות העין.

$m = 0 \rightarrow$ Vega

$m = -1.6 \rightarrow$ Sirius "כוכב הכלב" (הכוכב הבהיר בשמיים אחרי השמש)

$m = +6$ סף רגישות העין.

$m = -26.83 \Rightarrow$ שמש

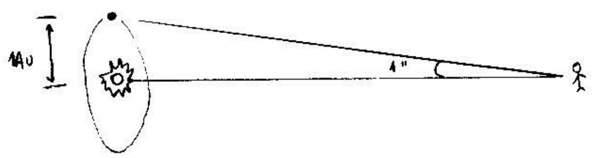
<u>עוצמת הארה האבסולוטית</u>:

$M = m$ for star @ 10 pc

עבור השמש:

$$M_{sun} = M_{\odot} = m + 2.5 \log_{10} \left(\frac{10\,pc}{1\,AU} \right)^2$$

מה זה pc? פרסק הוא המרחק ממנו נראה מסלול כדוה"א ברדיוס של 1":



$$1\,pc = \underset{°/rad}{57.3} \times \underset{''/°}{3600} \cdot AU = 3.26\,(lyr = \text{שנות אור})$$

לכן:

$$M_{sun} = -26.83 + 5 \log_{10} (57.3 \times 3600) = -4.74$$

(4)

טמפ' אפקטיבית של השמש:

עבור גוף שחור, חוק סטפן בולצמן נותן שטף פר שטח פולט:

$$dL = \sigma T^4, \quad \sigma = 5.67\times10^{-5}\ erg\ cm^{-2}\ s^{-1}\ K^{-4}$$

השמש אינה גוף שחור, אולם מגדירים טמפ' אפקטיבית T_{eff} שהיא הטמפ' שגוף שחור צריך להיות על מנת לפלוט את [illegible] הקיים.

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{eff}^4$$

את R יודעים מהגודל הזויתי של השמש + המרחק

$$R = 6.96\times10^{10}\ cm$$

ולכן:

$$T_{eff}^4 = \frac{L}{4\pi R^2 \sigma} \rightsquigarrow T_{eff} = 5800^\circ K$$

קשה למדוד טמפ' אפקטיבית כי יש למדוד עבורה את L הכולל.

טמפ' צבע

ניתן להגדיר "צבע" של כוכב ע"י הפרש המגניטודות בפילטרים שונים:

$$"B-V" \equiv m_B - m_V = color,$$

$B-V>0$ — כוכב אדום יותר מוגדר.
$B-V<0$ — כוכב כחול יותר מוגדר.
(זכור/ m מוגדר עם סימן "-" שלילי ← בהיר)

טמפ' הצבע היא הטמפ' לגוף שחור שנותנת את אותו ה- $m_B - m_V$.

במקרה של גבול Wien לגוף שחור: (בגבול של אורכי גל קצרים.)

$$f \propto \exp(-hc/(\lambda k T_c))$$

$$m_B - m_V = const - 2.5\log_{10}\left\{\frac{\exp(-hc/\lambda_B k T_c)}{\exp(-hc/\lambda_V k T_c)}\right\} = ?$$

(תלוי בנרמול לפי Vega)

ניתן להראות:

$$B-V \simeq \frac{2.5\, hc \log_{10} e}{T_c}\left(\frac{1}{\lambda_B} - \frac{1}{\lambda_V}\right) + const$$

ההגדרות של הפילטרים נותנות

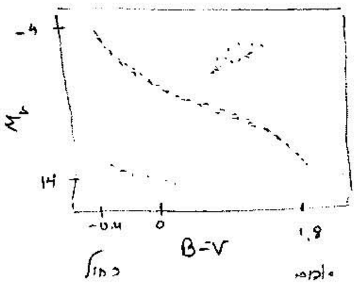
$$B-V=0 \iff T_c = 7600^\circ K$$

↑ טמפ' הצבע של וגה.

(5)

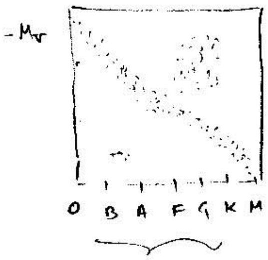
דיאגרמת צבע - בהירות   Color magnitude Diagram CMD

ניתן לצייר דיאגרמה המציגה M (או M_v) כתלות בצבע (לדוגמא B-V).
ואז נקבל:



- הקו באמצע נקרא "הסדרה הראשית" (Main Sequence)
- הנקודות בצד ימין למעלה הם ענקים אדומים.
- הנקודות בצד שמאל הן ננסים לבנים

דיאגרמת H-R   H-R (Hertzsprung Russel



דומה ל- CMD

פרט לצבע, ניתן לבצע קלסיפיקציה של סוגי כוכבים לפי הספקטרום שלהם.

לדוגמא: - כוכבים מסוג "O" מכילים קוים רבים של מתכות מיוננות בדרגה גבוהה ← טמפ' גבוהה (~50,000°K)

- כוכבים מסוג M מכילים קוי בליעה של מולקולות טמפ' נמוכה (~3000°K)

הסוגים (העיקריים) של ספקטרום:

O B A F G K M

O0 ···> O9 B0 ··· B9 A0 ····

וכל אחד מחולק ל- 0 → 9

דרך לזכור את הסוגים:

Oh Be A Fine Girl, Kiss Me.

לא Politically Correct אבל זוכרים...

ספקטרום של כוכבים כמו השמש ושל כוכבים כמו וגה המוגדרים כבעלי m=0 בכל פילטר.

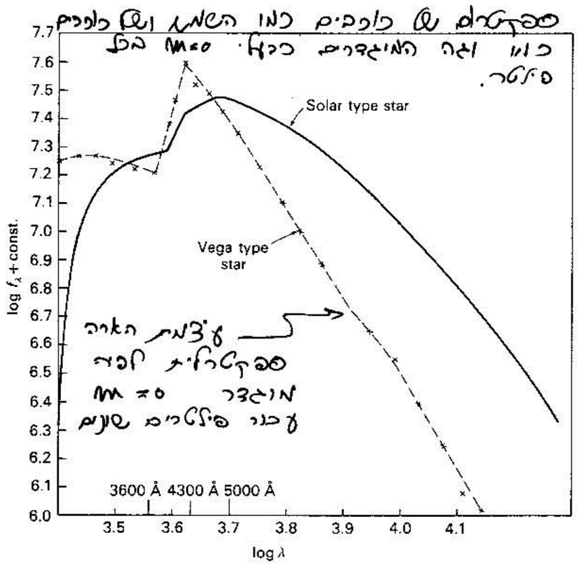


Fig. 1.3. $\log f_\lambda$ + const. for Vega is again shown as a function of wavelength. Also shown is the relative energy distribution of a star like the sun. This star is assumed to be at a distance such that its brightness in the visual is the same as that of Vega. We see that it then has much less flux than Vega in the blue wavelength region around 4300 Å. Its m_B must then be larger than zero. For this star $B - V \sim 0.6 > 0$.

Böhm-Vitense - מ

הגדרות של סוגי ספקטרומים שונים

Table 4.5.1. Classification of stellar spectra

Spectral Type	Temperature [K]	Criteria for Classification
O	50000	Lines of highly ionized atoms: He II, Si IV, N III ...; hydrogen H relatively weak; occasionaly emission lines.
B0	25000	He II not present; He I strong; Si III, O II; H stronger.
A0	10000	He I not present; H at maximum; Mg II, Si II strong, Fe II, Ti II weak; Ca II weak.
F0	7600	H weaker; Ca II strong; the ionized metals, e.g. Fe II, Ti II had their maxima at about A5; the neutral metals, e.g. Fe I, Ca I have about the same strength here.
G0	6000	Ca II very strong; neutral metals Fe I etc. strong.
K0	5100	H relatively weak, neutral atomic lines strong; molecular bands.
M0	3600	Neutral atom lines, e.g. Ca I, very strong; TiO bands.
M5	3000	Ca I very strong; TiO bands stronger.
C	3000	Strong CN-, CH-, and C_2-bands; TiO not present. Neutral metals as with K and M.
S	3000	Strong ZrO-, YO-, LaO-bands; neutral atoms as with K and M.

Unsöld & Ba. - מ

דיאגרמת H-R

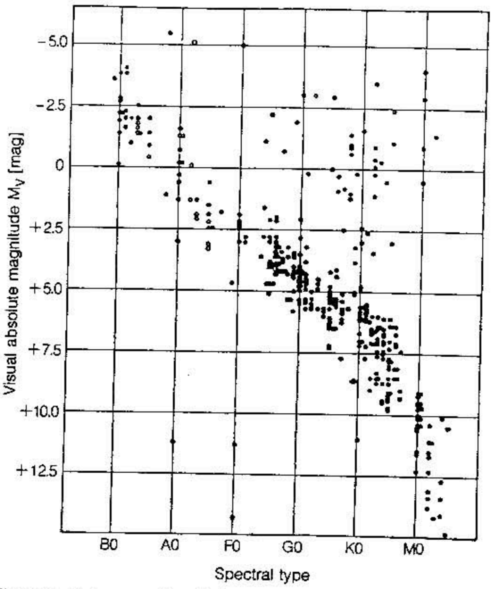


Fig. 4.5.1. Hertzsprung-Russell diagram. The visual absolute magnitude M_v is plotted against spectral type. The Sun corresponds to $M_v = 4.8$ mag and type G2. The points (●) represent stars within 20 pc with reliable parallaxes. For the rarer stars having larger absolute magnitudes (○), along with the trigonometric parallaxes, spectroscopic and cluster parallaxes were also employed

Unsöld & Baschek

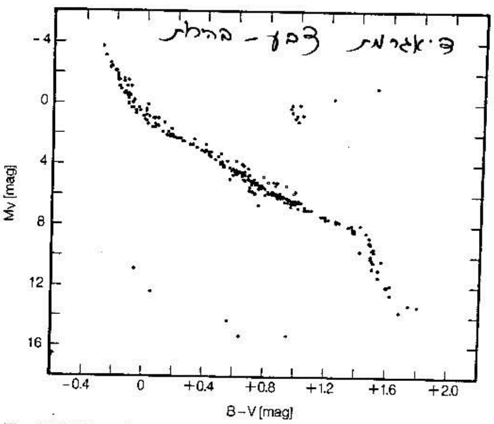


Fig. 4.5.2. The color-magnitude diagram with M_v plotted against B-V according to H.L. Johnson and W.W. Morgan; it contains main sequence stars with trigonometric parallaxes $p \geq 0.10''$ and those from several galactic star clusters with well-known parallaxes, interstellar absorption and reddening. In addition, five white dwarfs (*lower left*) and several yellow giants (*upper right*) are also plotted. The stars from Praesepe which lie above the main sequence are probably binary stars