

אטראפ'סירא מתקדם :

מבנה כוכבים ואנרגיות גדולות

נולדים שמים :

מבנה כוכבים - שילוב משקל, כוכבים פוליטריפיים, כוכבים הומולוגיים

- מעבר זמני, היוקציות של צינור דונקצ'ד

- אבולוציה של כוכבים.

- תהליכים בכוכבים כפלים, אבולוציה של מעיבור

בינאר.

תהליכי ספיחה - ספיחה סביבית

פוסקוונר ספיחה.

תהליכים באנרגיות גדולות - ג'י האם

- היווצרה של חלקיקים

- תהליכי זמני (כיוון תמיכה, דומפאין)

סינכרוטרון אב'...

תמיכה!

מהם כוכדים? ומה הם הפיזיקאים האופטיים שלהם?

– כוכדים הם כדורי גזים ששוקים בארץ זנונית. (אפילו כל צדד הם חיים)



כחוס
מסיבוב

כאשר הם הקיבוק כדוריים, אבל לא כולם.



שפיצי"ל
זכר
צדד

סיבוב וכן זוג יפואים אהספיע. אה הלוכה.

או כפי שחזי היבואר ממאך האוילת הבין בזה:



Pumbaa: Timon, ever wonder what those sparkly dots are up there?

Timon: Pumbaa, I don't wonder; I know.

Pumbaa: Oh. What are they?

Timon: They're fireflies. Fireflies that, uh... got stuck up in that big bluish-black thing.

Pumbaa: Oh, gee. I always thought they were balls of gas burning billions of miles away.

Timon: Pumbaa, with you, everything's gas.

* כיצד מופצים כוכדים?

קמעה, א האנסיהמה? מתקבל מתצפית, רוב האנסיהמה הוא
הצורה ש ספקטרום גז. מתצפית אלה צימרים לפסך? אה מתח
ומה! נחיל הצפיות עזרה השמש

מצב עזרה השמש

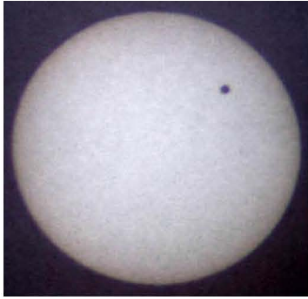
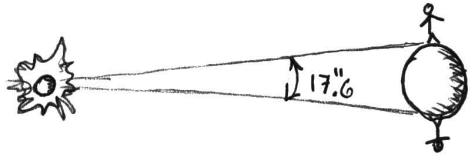
* מצבת מתח, המתח אה השמש ניתן מצבה ע: מצבת
הפקסה, צהינו, אה השילי אה שרובם בשני צידי כדור הארץ
צפיה בשמש. אמה, המצבה הכ מצות אה השמש אה אה השמש

3

ל אנוס רפך זיקוק השמש הפכה (אם כן) - 1761 ו- 1769 וזכור

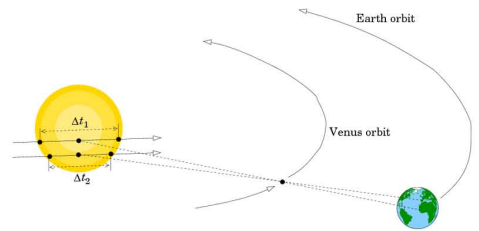
המדידות נעו היה זהה עדיין עדיין

כ. א. !



סגנון של אנוס
כפי שצילם ע"י
המדידה כ- 2004

מדידת המרחק ע"י אנוס :



היום משתמש בהצטרף מדידת אנוס אנוס קובוץ אר המרחק או
השמש במדידת.

$$\Delta AU \cdot \frac{17.6''}{3600 \frac{\%}{\text{rad}}} = 2 \times \underbrace{6400 \text{ km}}_{r_{\odot}} \rightarrow 1 AU = 149.6 \times 10^6 \text{ km}$$

* עוצמת ההארה של השמש : עוצמת ההארה נמדדת כיום ע"י קלווין אף האטמוספירה

(מדידת עוצמת ההארה משתנה כ- 0.1% (א קולור מין של שטח יבד שנים רבות)

והיא יוצרת בזיקוק אדסלוס. של כ- גוים (זעיר...)

$$F_0 = \int F_{\lambda} d\lambda = \underbrace{1.376 \times 10^6 \text{ erg/cm}^2 \text{ sec}}_{= 1376 \text{ W/m}^2}$$

$$L_0 = 4\pi \frac{D^2}{1 AU} F_0 = (4\pi) \times (1.49 \times 10^8 \times 10^5 \text{ cm})^2 \times 1.37 \times 10^6 \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2 \text{ sec}}$$

$$= 3.839 \times 10^{33} \text{ erg/sec}$$

$$= 3.839 \times 10^{26} \text{ W}$$

מסת השמש:

את מסת השמש ניתן למצוא בסדר מסוים כנראה וזמן התצורה. ביוק
המפצה (קדח למטה ע"י הביוק של G! בקירוב של מסוים)

מסוים:
$$M_{\odot} \frac{v_{\odot}^2}{D} = \frac{GM_{\odot}M_{\odot}}{D^2}$$

כ"ז נטיליות. כ"ז משיכה

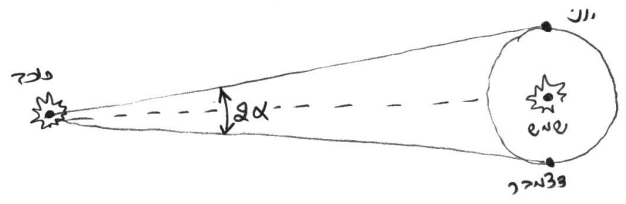
$$M_{\odot} = \frac{(2\pi)^2}{G} \frac{D^3}{P^2} = \dots = 1.9889 \times 10^{33} \text{ גר}$$

כוכבים רחוקים

למצוא את הספקטרום של כוכב ורק אז הצ'למטר הפאזה (המצב) לא יתק
מדי קשה, רחוק, הוא אצות מבינה המסה של אותו כוכבים רחוקים או את
צורת ההגיה האדסולוטר.

* למצוא מרחק לכוכבים:

הטריגונומטריה מבינה מרחק הוא כמון ע"י מבינה פאזה.



α היא זווית הפרלקסה. כוכב נמוך במרחק של 1 pc אם α = 1"

$$1 \text{ pc} = \frac{57.3}{\text{rad}} \cdot \frac{3600}{\text{arcsec}} \text{ AU} \cdot (1'')^{-1}$$

$$= 3.08568 \times 10^{18} \text{ cm}$$

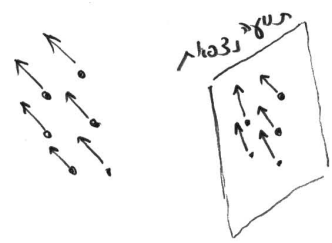
5

שימו לב שתיצטרף ה-PC, למעשה שהיא דלתר נופך "מוקצנו" זאת משנה-האור,
 ה-PC היא יחידה אצו פתור אקצטר משנה האור, שנתר האור ילוייה דמיהלת
 היווי (טקני) ואוקר שנת כד"א (תלויה ספציות כפולטיה טלנו), יחידת ה-PC
 הלוייה דמסלו כד"א (עוק ספציות אכד"א) אדצנו שנייהקשת - אצו
 שהנוו שכלת (ולו חמש) בהצנת המלה "הדלתר הקצמונים...".

הכוכב הקרח דלתר רנו היוו *proxima centauri* שהיוו בן אצו לנכר הכפול
 α-Cen (ושקורה נמצו כעט טפ-טיני אתר קרח), נמצו דמיהק 1.24 PC.

הוא טמ עונן - *Hipparcos* ישן מצינת סצ כ- אקא של כולקסטר.
 כזו רכיע אמתקים שצול אתר ישן אצו שילת:

Moving Cluster



ע"י שימוש באפקט של פרספקטיבה, הגורם
 לתנועת צדד א פני השמיים להילנת בתנועה
 "מתכנסת", ניתן להציק את המחקר לצדד.
 מאותצ המאה ה- של ראשיתמשים בשית, כי גילטר אחלת ילתר
 מצוידת.

"כותר סטנדרטיים" (Standard candles)

גיפס כלי עצמת הארה קדיעה נקיוים "זלת סטנדרטיים". היתמן
 העצום טלם היוו שניתן דכרתם אצטר אתר המחקר ולויהם (נול הקיפם
 כמנו צדיכים או בקסטר המכילים אותם.)

$$F = \frac{L}{4\pi r^2} \rightarrow r = \sqrt{\frac{L}{4\pi F}}$$

6

בתקנים רבים ה- L של התקני אמציה תלוי בהתאמים נוספים שיש

למבוצ גם כן. למשל, כוכבים שמסנים את עצמם בהארה שלבם קמפולד,

עצמם בהארה האקסטרמלית תלויה בצמן מחזור P שיש למבוצ גם

כך. $L = L(P)$. תיקון נוסף כולל את ה"מתכות" Z .

שני סוגי הכוכבים התצפיתיים שמשתמשים בהם הם:

- RR Lyrae

בנוסף, מעין כתיבה שלילית של סקאלר השילושית A סקאלר מרחק הידורית.

שילוח זה יחד, שלב הסילר (כמעט) זכריות נוחות השיטה בהתקנים

קטנים יותר ע"י שיטת אחרת, עד שמגיעים לקצה המרחק בה ניתן

קבוצתם בפירוקה.

מפת כוכבים:

את המפה של כוכבים באזורים כמו קמפולד, אוראק, או כוכב הינו חלק

ממבוצ קינמית של כוכבים, כי אצל ע"י שילוח בקצה ניתן למצוא

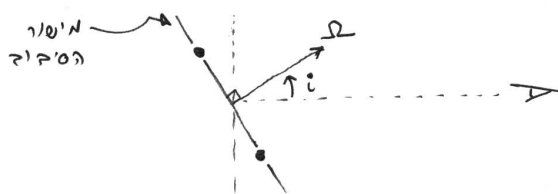
את המפתר עד כפי: $\sin i$.

- כפי לעצרת את המסלול של שני הכוכבים, יש לעצרת את המסלול

היחסי a של שני הכוכבים או את רדיוס המסלול היחסי.

- גורם, היתר ואנו לא יוצרים את הצורה המרחבית של המסלול,

לא ניתן להעריך את המפתר עד כפי בקטל: $\sin i$ שהוא לא יבוע.



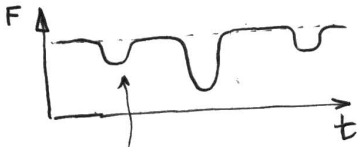
7

כפי להחמיר מה- \sin יש להשתמש על כוכבי שמיים המדויק

הוא ניצב לכיוון אל הצפה, במקרה כזה, הכוכבים בצד זה אינן איתנים וידעו
 eclipsing binary



מצורת עוצמת האור, ניתן להוציא אינסוף מצורה נוספת, כמו מדם הצבים הכוכבים.



כוכב עם עוצמת האור היא שלם דלגה אל מוסת ע"כ כוכב שני

הפונקציה הקוסית f - eclipsing binary היווה הכוכב" או גוף

(אלגור) אפול "הש" (והנקרא דהיינו כוכב חוש השל) וצורת מפני שלצמתי ההואה שלו משתנה בהתאמה ל $g.87$ יום

איתן מוצב ור מסת שני הכוכבים דלגה (אנטיה יש גם שליש בהיתוך חוק!) שלהם:

$3.59 M_{\odot}$ ו- $0.79 M_{\odot}$ ארצות $2.3 R_{\odot}$ ו- $3.0 R_{\odot}$ דהואמה.

מצורת עוצמת ההואה של כוכבים

הקובץ הבסיסי שנמצא בספקטרום הוא:

אלנקה איתן $f_{\lambda} =$ שטח איתן λ ק"מ λ ק"מ

עוצמת ההואה הכוללת היא:

$$f = \int f_{\lambda} d\lambda$$

עוצמת ההואה דלגה סלע F מוצגת ע"י:

$$f_F = \int f_{\lambda} A_F(\lambda) d\lambda$$

כגם A_F הוא פונקציה ההעדרה

שלושת הפילטרים הסלקטיים (באותה), והאורך λ המרכז שלהם הוא:

U - 3650 \AA = אולטרה-ויוולט

B - 4400 \AA = כחול

V - 5880 \AA = "אוי-ניאה"

המגנטודה מוגדרת באופן זה:

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

בפנינו, מגנטודה שלילית אינה משמעותית אלא רק בהינתן יתרונה. כלומר, כן
יש מגנטודות משמעותיות פחות מ-100 בהחלט - הבעיה היא דאגה להבדלה
ע"י היותם הקטנות וההבדל הנוכחי של העין.

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

מסקנה היסטורית, נהוג להגדיר שהמגנטודה של פולקס היא המכונה Vega
(מקורה 100 כוכבים צמחי וזהו...):
ע"י איתור סיווג ספקטרום ב-100.

$$M(Vega) = 0$$

סל
filter

אם מוציאים ציור פולקס V:

$$m_V = 0 \quad Vega$$

$$m_V = -1.6 \quad \alpha Canis majoris = Sirius - \text{הכוכב הכי בהיר בשמים}$$

$$m_V = 6 - \text{90 ההישר של העין}$$

$$m_V = -26.74 - \text{השיש שלנו}$$

עצמית ההאכה האדסולטר מוגדרת המגנטודה לביינארדיקט אם
הוא היה נמצא במרחק 10 pc:

$$M = m \text{ for a star @ } 10 \text{ pc}$$

$$M_{\odot} = m_{\odot} + 2.5 \log_{10} \left(\frac{10 \text{ pc}}{1 \text{ AU}} \right)^2 = +4.83$$

טמפ' אפקטיבית של כוכב:

חוק סטפן בולצמן ניתן שמי שטח של גוף שחור פולט:

$$dL = \sigma T^4 dA ; \sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ erg cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ K}^{-4}$$

כוכביות אינם גוף שחור אלא ניתן להבדיל טמפ' אפקטיבית שהיא הטמפ'

שהיתה ציבה דהיותם מסווגים מנת שיפלוט את הקרינה שהיא פולט:

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

$$\hookrightarrow T_{\text{eff}} = \left(\frac{L}{4\pi R^2 \sigma} \right)^{1/4}$$

דוגמא השמש עם $R_0 = 6.96 \times 10^{10} \text{ cm}$ מתקבל: $T_{\text{eff}0} \approx 5800 \text{ K}$

דוגמא למצב אחר T_{eff} כי קשה למצוא את L המצוי!

טמפ' צבע

הצבע של קטנה למצב אחר אינו הטמפ' האפקטיבית, אלא הטמפ' האפקטיבית ממוצעת של הקרינה הנפלטת.

הצבע מוגדר על ידי ההפרש במגנטודה בין B ל- V בין הבלתיים:

$$B-V \equiv m_B - m_V \equiv \text{color}$$

לדוגמא $B-V$

ובכן, טמפ' הצבע היא הטמפ' הגוף שחור שניתנת את אותו ה- $m_B - m_V$

$$B-V=0 \iff T_c = 7600 \text{ K} \quad \text{טמפ'}$$

היותו גופים הם לאו בהכרח גופים שחורים, באופן כללי $T_c \neq T_{\text{eff}}$

מאפיינים אחרים T_{eff} ותצפיות מוצגים T_c ...

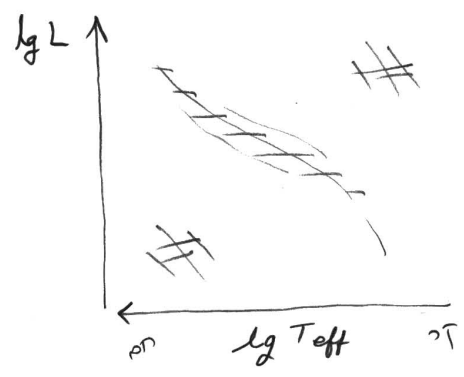
צילומטר 3 - ד - היסט

אלה הצילומטר המטאור באסטרופיזה הוא צילומטר ז'באנר-האדס כנצד סמל', או מעגל סוצה כנצד צדד. בצורתה הישנה היא שנסעה ז' היכפולוג ורסל האופן דתי גלוי. נראה בהמשך כי ניתן למצוא הרבה על הכוכבים לצילומטר ז'.

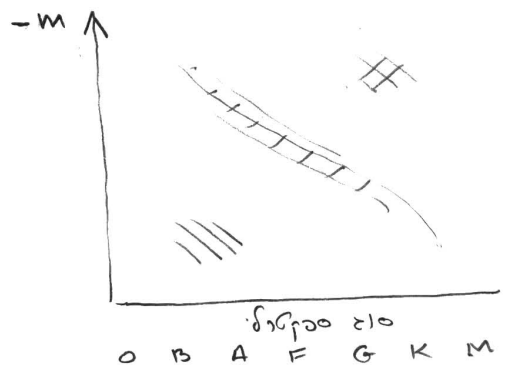


צילומטר 3 - ד - היסט

צילומטר של תאודוסיוס



HR צילומטר



בצילומטר HR המעולה הפתחו בסוג הספקטלי. הסוג קצת רב הולך מהירוקים. למשל הכוכב מסוג G כמו השמש, הוא הולך קצת רב על Ca כוכב מסוג O הוא הולך ארוך וכוונה. (ב-M הוא כוכב דומה לזו המעולה)
(TiO על העל)

פכמטרים אנפניים אפיקים:

כוכבים מאפיקים הם מיני זרעים, צדפים (ואבל זריק בזכה אחת...)

המסה האופינית לפסיד היא: $M \sim 0.3 - 3 M_{\odot}$

גודלם הם יבולים קטנים על צדדים של כ- $1000 M_{\odot}$ (בימים טובים אצל מאז דהיליס!).

עוצמת ההולדה של כוכבים נתיב בין $10^6 L_{\odot} - 0.001 L_{\odot}$

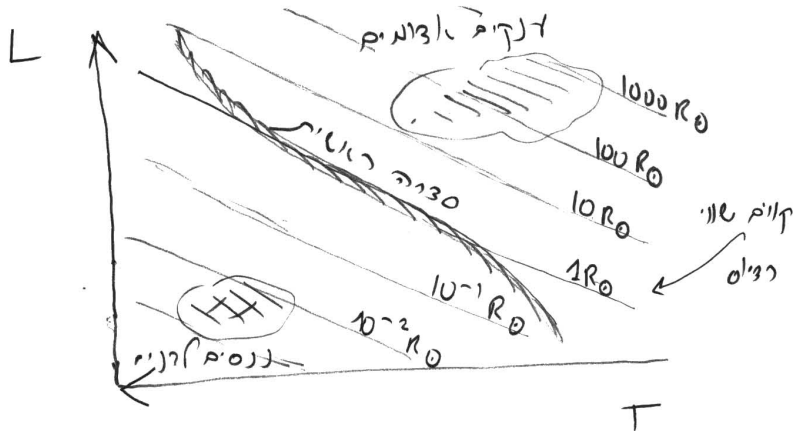
בהינן, תחילת מאז חזק של עוצמת הארה!

מהטמפר' ועוצמת ההולדה ניתן להסיק על הכוונות האופניים!

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

$$\rightarrow R \approx \frac{L^{1/2}}{(4\pi\sigma)^{1/2} T_{\text{eff}}^2}$$

אם ביגורמה $H\alpha$ (או LT איתר ציקלי...):



על הסדרה המשיק, מוצאים כוכבים עם L בין $10^3 - 10^6$ עוצמת ההולדה של

השמש, אלא הכוונות מאז מאפיקים, $10^{-1} - 10^4 R_{\odot}$.

כוכב כמו α Ori (דיסג'אוס) מאז עכזי $R \sim 1000 R_{\odot}$ או $5 AU$!

זמנים אופטיים בכוכדים:

לכוכבים ישנם מספר זמנים אופטיים חשובים. הכי חשוב הוא זמן קרוין-הולמבאד, שהוא הזמן שלקח אור לבצע קרוין אור אנטי-הקסי שלו:

$$U_{grav} = -G \int_0^{M_*} \frac{m dm}{r(m)} = - \underbrace{\alpha}_{\substack{\text{מספר} \\ \text{זיגל}}} \frac{GM_*^2}{R}$$

$$\tau_{KH} = \frac{U_{grav}}{L} \approx \frac{GM_*^2}{R_* L_*}$$

$$\tau_{KH, \odot} \approx 3 \times 10^7 \text{ yr}$$

סדר גודל השמש הזמן הינו.

זמן זה ניתן יותר הזמן הכולל של אורח לבצע קרוין (למשל כשאתה צוק מטרים). הזמן ההולקו הפנימי הוא זמן צינור שהוא הזמן שלקח אור לבצע קרוין (למשל, אם "מכדים" את הקריסטלים).

$$\tau_{diff} \sim \frac{r}{v} \sim \sqrt{\frac{r^3}{GM}} \sim | = 20 \text{ min}$$

זמן נוסף הוא זמן צינור של פרוטון צינור הכוכב. (אך אולי).

הצינור הנוצרת דומה לזמן השמש הוא 1 g/cm^3 . חלק הפשוט והפנימי.

טאניס אקציה בין הולקו והחומר (כפי שניגוד ההספק) הוא חלק הפשוט של

תומסון: (Thomson)

$$\sigma_T \approx 6.65 \times 10^{-25} \text{ cm}^2$$

$$M \sim \underbrace{N_A}_{\substack{\text{מספר אבוגדרו} \\ \text{פר} \\ \text{גר}}} \cdot \underbrace{A}_{\substack{\text{גר} \\ \text{cm}^3}} \cdot \rho \approx 6 \times 10^{23} \frac{\text{par}}{\text{cm}^3}$$

כפי שאת החלקיקים הינו.

13

המרחק המינימלי. הממוצע שאזרח בוטון בין ספיסה ובאזנה יהיה:

$$l \sim \frac{1}{n\sigma} \sim \frac{1}{6 \times 10^{23} \frac{\text{par}}{\text{cm}^3} \cdot 6.65 \times 10^{-25} \frac{\text{cm}^2}{\text{par}}} = 2.5 \text{ cm}$$

לספרי הצפייה הוא: $(R/l)^2$ כולם הזמן הוא:

$$T \approx \left(\frac{R}{l}\right)^2 \tau_1 \approx \left(\frac{R}{l}\right)^2 \frac{l}{c} = \frac{R^2}{cl} \approx 6 \times 10^{10} \text{ sec}$$

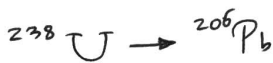
$$\approx 2000 \text{ yr}$$

במצביות, חלק הספיסה אצלו יותר בתצורה לטפולים אטומיים כמו כן, באנטימים
בהם הצפייה אצלה יותר הבסיסיות נחזקת יותר זמן.

זמן קרינה זכאנית

הזמן הוולפני הוא הזמן שאקראיבס קשיח, יותר הזמן שלו.
זמן זה צריך להיות מספר גופו של גיל השמש!

התורה של ג'ינס (Jeans) שהאנרגיה היא להתפרקות הול-אקדדי:
(5.10) אחר שוויון. חלק שמקור האנרגיה היא להתפרקות אדי-צ'אנרית של סקלר זמן
(KH של).



$$Q = \frac{47 \text{ MeV}}{m(^{238}\text{U})} = 1.9 \times 10^{17} \text{ erg/gr}$$

קטן, כמות האנרגיה הצמיחה הוא:

$$L = \frac{M(^{238}\text{U})Q}{\tau_{\text{decay}}} \rightarrow M_{\text{tot}}(^{238}\text{U}) \approx \frac{\tau_{\text{decay}} L_0}{Q}$$

$$\approx 4 \times 10^{33} \text{ gr} = 2 M_{\odot}$$

ג'יה - $2 M_{\odot} > 1 M_{\odot}$, אין τ בשעה, והוא ככה צריך
קביל 10^4 שעות.

(4)

→ 1920 א.צ.י.טון על ידי שמש ממייב מימן והליום

$$\Delta m(4H \rightarrow He) c^2 = 6 \times 10^{18} \text{ erg/g}$$

$$= 30 Q(U^{238} \rightarrow Pb^{206}) !!$$

שמש אין לה מסת כדור הארץ אלא כמות קטנה יותר מסת כדור הארץ

מימן בשמש...