

1

כוכבי נויטרונים:

כוכבי נויטרונים צומים במידה מסוימת (רנסים רבנים) - הם מוטרפים ע"י לחץ ניוון של תאונדה, בדיוק נויטרונים - חסן שמא, יתן לא יק.

המודל המושפן היה של אופן היימור ונוקדך שתאר גאז נויטרונים אנדול. מופלים מתקבמים יתרי שנייה בתקופות שליקחים מ, נקליטות צים, ילקטנונים, א, סוז Σ מרק קמיקוז וכו... ופניו בגיניטיאקציות הנפולטר - גזי, העדדה של פיונים, טבה ממנצח וכלצמה וכן גם התקופות יחסיתים או לאו.
תחומי הכפיבלר המשובח הם:

* $\rho_{drip} < \rho < \rho_{nuc}$: כאשר $\rho_{drip} \sim 4 \times 10^{14} \text{ g/cm}^3$ - בתחום צפיפות נמוך פ הנויטרונים הם חלק מהנצנים (אננס כולה להם $\mu = 1$) גורם אין צפייה של נויטרונים תומי זה מתואר במפויק ומסיר ע"י אלקטרונים, וזכרונים טנמצלים בשדה קוואמי.

* $\rho_{nuc} < \rho < \rho_{drip}$: מאז הכפיבלר שבה מ מתחילים להילר תופשים יתן בצפיפות נמוכה מהכפיבלר של חומי זכרן, שבין ניתן לתאר את החומי (משולר המצב) בצורה טודיה יחסית ע"י הכפולר מיק הנויטרונים. $\rho_{nuc} \sim 10^{14} \text{ g/cm}^3$

* $10^{15} \text{ g/cm}^3 < \rho < \rho_{nuc}$: מאז רצפיבלר הזרזינית, ישן שתי הסתדכולר נוספין: (ו) היסוד הפיטנצאל בין הנוקליונים שאותונו בעיר כידו הזופים. כן לכניקת שונור (נמטר משוואר מצב שולר).

* $\rho < 10^{15} \text{ g/cm}^3$: בצפיולר מגז גדולה התקופות נהיים יחסיים ומיפלים העקזיה שונור ומשנימ.

גלן משוואר המצב אויה יצעה כמו עדרו (נסים רבנים) קשר המסה - רפוס של כוכבי נויטרונים אינו יבוצ טוז.

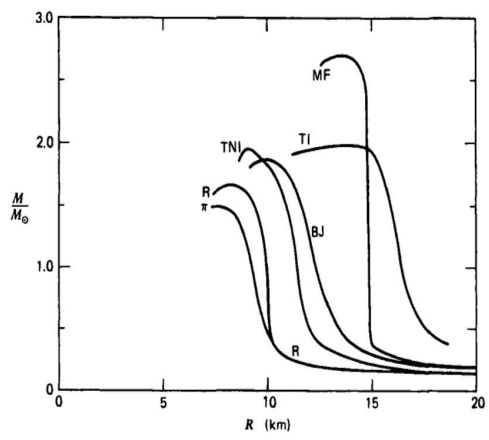


Figure 9.3 Gravitational mass versus radius for the same equations of state depicted in Figure 9.2. [After Baym and Pethick (1979). Reproduced with permission, from the Annual Review of Astronomy and Astrophysics, Vol. 17. © 1979 by Annual Reviews Inc.]

צוגמאלר אָדער $M(R)$ נתונים געבן
 צדוי מסנן משוואות מצד שונות.

אמיות שלילא ניתן חיאלר את הקדינ
 התרמית א כוכדי נייטאלניז קחידים,
 קלי רומוז מתצבאר גרו מבו היזיס.
 אה הטמפ א פנ השטח הייפה אחיזה

$$r = \frac{L}{4\pi\sigma T^4}$$

כי אל:



גורם הטמפ' אינה אחיזה, הסגה היא
 שיתר ק רחום אצות בגיאונים בהם
 הסגה המאק נידר אכני השטח אק
 השטח האופטידי א הכוכדים היא אק יתר.

פולסרים:

ההדנה הפאזיטער שיתכנו מצדים כמו כוכדי נייטאלניז העלמה ז'
 Beede & Zwicky -> 1934 ו- Oppenheimer & Volkoff -> 1938.
 ההדנה שכוכדי נייטאלניז יכאיק אהוולר בסופר נקודת הילפה ז' Colgate ו-
 White -> 1966, -> Hewish ו- Bell זיקו אה היזיסים,
 אחי זמן קצוי שחכו עול. מצובר באונטיים יכאיק קטנים, היינו שפה סיזנר
 מכוכדי נייטאלניז. (ז' Gold -> 1967).

- Pulsars: P: 1.6 ms - 4.3 s
- P small & > 0 glitches - א חוס
- P very stable.

3

האם הקופים יכולים להיות (נטיח אבנים או גלגל ארץ יותר?)

(שווה את כוח הצנטריפוגלי. רגריטציון כנולדו Ω מקסימלי (או ρ מינימלי). קבץ אסטרונומי:

$$\Omega_{max}^2 R \sim \frac{GM}{R^2} \Rightarrow \Omega_{max}^2 \sim \frac{GM}{R^3}$$

רפינג מתקבל זמן מניח מינימלי. אסטרונומי: $P = \frac{2\pi}{\Omega}$

$P_{min} \approx 1s$ for WD

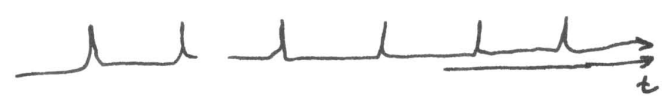
$10^{-3}s$ for NS

עקביות, יכול להיות שיש קינה של WD גלי. שבכוח הצנטריפוגלי יהיה קנה אולם אם תמיד חלו קינה צנדיטציונל שגזילה אקופים אפוא אחד אחר השני:

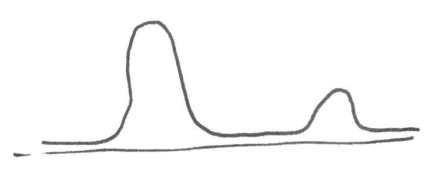
$$\tau_{grav} \sim 10^{-3} \text{ sec} \left(\frac{\rho}{1s}\right)^{3/8}$$

אולם $(\dot{P}/P)^{-1}$ של נובבי נטחנים הוא $\sim 10^7$ sec

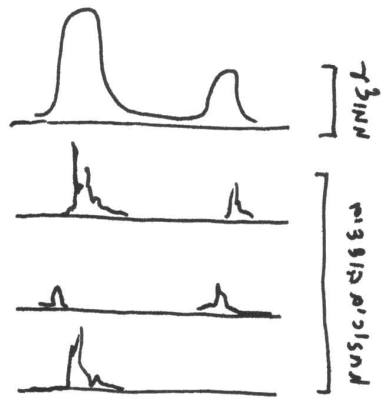
סימני הפולסר נוטה כואסר פולסים:



אם ממנצחים אה היקה מתנווית, מקבלים יותר הפולס המתנצח:



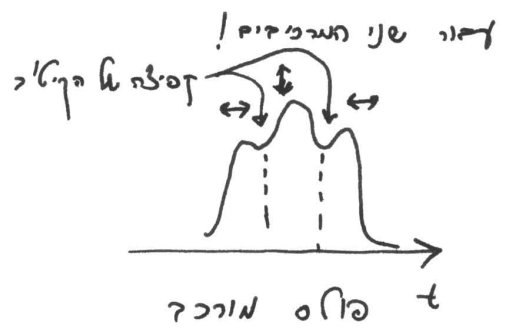
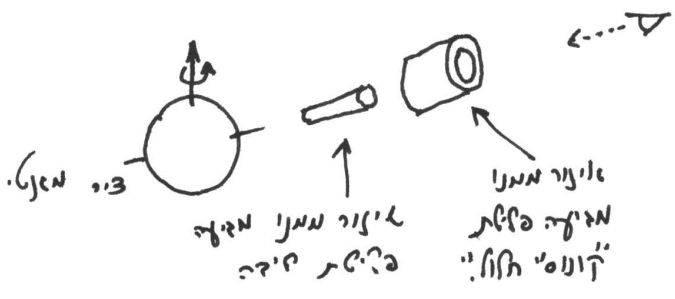
פולסמה יפול להיות דווש... או כפול, כתוצאה של חדטה של הקולטב הקדיק והחוק. יתר מהצופה.



למעשה, הפולסים הקדומים משתנים
מאז נומרוזו למתזוק, וזה רק המעורר
אם הרבה מתזוקים שנתנה יפה.

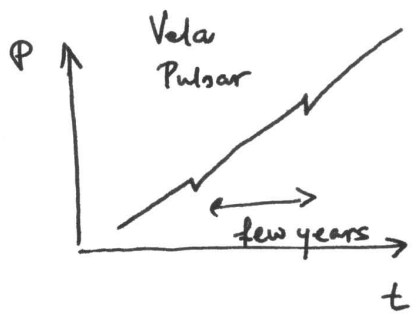
אם מסתכלים א המבנה של פולס
קוצר, כולנו דמיון מפותח שיש לו מבנה

שהוא מוכר "ג'יגה" + פלטה מסביב לז'דה, והקולאז של קרמיה גדול משתנה



הפולסה מהקולוס העלול היא זמנה ככה הנראה מתקיים שהמוליבים גדול העקומיה
אם השדה המגנטי. את הפולסה ניתן לומר קפאית זה ג - קבוע א, אכזה וגורו קבוע.
מבד המכנימים השונים פולסים בזמן וזמן הציבה המגנטי - נכון שלב משה.

סוצאסקר מעטן בקוסמיים הוא התנהגות היננים - P:



והעקדה שיש בהם - glitches
אוקסיצטר ב - P - ו - P שנוקמים
כניאה מסבוכ מתבס של ג'קנה
של הכוכב.

סזוכ ה - crab pulsar (דמיונית הסרטן) $\dot{P} = 10^{-15} \approx 5^{-1}$
שניתן גע 2486 $(P/\dot{P} = T)$ קמבת שנתו של הכוכב נילינייה היוו
קריג מנד ל - 1000 שנה.

5

כדי להבין מדוע \dot{p} קיים, צה"ני, מדוע מאט הכוכב את סיבובו, (סתם מה קורה רציפות) מדוע מסתלק.

$|M| = \frac{B_p R^3}{2}$ (נדבר את המנטה הדיפול):

(B_p הוא הסדה בקרט די צ). קצב איבוד האנרגיה רציפי שמשמנה בזמן

$\dot{E} = - \frac{2}{3c^3} |\ddot{M}|^2$ (קנינה דיפולר מנג'טר) הוא:

זאת הנטיה בין \hat{e}_L ל- \hat{m} . הדיפול במנטה הוא:

$M = \frac{1}{2} B_p R^3 (\hat{e}_{||} \cos \alpha + \hat{e}_{\perp} \sin \alpha \cos \Omega t + \hat{e}'_{\perp} \sin \alpha \sin \Omega t)$

מה מצביח ב- \dot{E} מנקבים:

$\dot{E} = - \frac{B_p^2 R^6 \Omega^4 \sin^2 \alpha}{6c^3}$

מצד שני, האנרגיה של הכוכב היא בקנינה אנרגיה קינטיק סיבובית:

$E = \frac{1}{2} I \Omega^2 \rightarrow \dot{E} = I \Omega \dot{\Omega}$

$T \equiv \frac{\Omega}{\dot{\Omega}} = \frac{6 I c^3}{B_p^2 R^6 \sin^2 \alpha \Omega^2}$ הדין האופני ניתן להצדה כ- today =

$\frac{\Omega}{\dot{\Omega}} = \frac{\Omega}{\dot{\Omega}} \Big|_T \left(\frac{\Omega}{\Omega_0} \right)^{-2}$ כן -

$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{\Omega^3}{T \Omega_0^2} \Rightarrow \frac{d\Omega}{\Omega^3} = \frac{1}{\Omega_0^2} \frac{dt}{T}$

או למעשה:

ניתן כעת לעשות אינטגרציה מהמצד ההתחילתי למצד i למצד 1 בסה"ל.

6

$$\Omega_0^{-2} - \Omega_i^{-2} = -\frac{2}{\Omega_0^2} \left(\frac{t_4 - t_i}{T} \right) \quad \text{ולקדח ע-}$$

$$\Omega_4 = \Omega_i \left(1 + \frac{2\Omega_i}{\Omega_0^2} \frac{t}{T} \right)^{1/2} \quad \text{סהכ לקדח:}$$

אם נניח ש \$\Omega\$ היא זמן בהתבדה מה- \$\Omega_i\$:

$$t = \frac{T}{2} \left(1 - \frac{\Omega_0^2}{\Omega_{init}^2} \right) \approx \frac{T}{2}$$

עדי פולסר הסרטן, נמצא ב- 1972 על ידי Gullakorn ו- Groth

ע- $\frac{T}{2} = 1243 \mu s$. במצולח זמן הפולסר ~~היה~~ היה :

$$t = 1972 - \underline{1054} \approx 918 \mu s.$$

שנת הספר-נודה

המספרים הוולכניים ניתנים מאגז שזור מנגטיים של $\nabla \cdot \text{few} \times 10^{12} G$

מפרט לבניה מ (breaking index)

נניח כי: $\dot{\Omega} = -\alpha \Omega^n$, נוסף להזיוו את מ כמקרה השלילה

ניתן קמקז אוני את נטרן קמקזו את $\ddot{\Omega}$:

$$\dot{\Omega} = -\alpha \Omega^n \rightarrow \ddot{\Omega} = -\alpha n \Omega^{n-1} \dot{\Omega}$$

מק:

$$-\frac{\Omega \ddot{\Omega}}{\dot{\Omega}^2} = + \frac{\Omega \alpha n \Omega^{n-1} \dot{\Omega}}{\dot{\Omega} \cdot \alpha \Omega^n} = n$$

$n = 2.515 < 3!$ עדרו הסרטן :

$n = 1.5 - 2.8$ Vela האם יצוץ מ עדרו 4 פולסורים

- צורה אחת להסביר את ה- μ היא ש"י סינוי ה- α בתלטר
 אסמן. חמש: I קראו כזמן, או B זכור (או רחילופן הבדלת
 הכוונת בין הקוטב המגנטי. וציר הסיבוב).

- אובדניה נוספת היא ש"י זרם של חלקיקים הנע החוצה, שזוהי אגרו
 את השדה המגנטי. נסין זאת בהמשך הצד...

- את מוסיבים גרביטציה מקראים:

$$I \Omega = -\beta \Omega^2 - \frac{c}{4\pi} \Omega^2$$

מזו. גרביטציה (האטה קוואנפולטר).

אכן, בתואו הפסט, הסטן היה צבין קהל- עם ח שטמו טיכה
 זכור זר מ- 3 זר קראו יזר!

צרך נוספת קראו את ההאטה!

בזרם מסתובב, ואדז אנרזיה צרך סטר בזונלוג הנוכח
 מהשדה החשמלי/מגנטי. שמשנים זמן.



$$S = \frac{c B^2}{4\pi}$$

ש B זר

הרציונליים קראים, יהיה לנו B שטמו מהמיקו הרציונלי. המשתנה.
 הרציונליים בו השדה הרציונלי. והפך אשדה אלו הוא רדיוס צילנדר
 האורו בו $c \sim \Omega$ וצורת השדה של תהיה העצמה
 המתקבלת מהרציונלי בוגרו רציונליים.

8

$$B \sim \frac{m}{r^3} \Rightarrow S \sim \frac{cB^2}{4\pi} \sim \frac{cm^2}{4\pi r^6}$$

$$\dot{E} = 4\pi r_c^2 S \approx 4\pi r_c^2 \frac{cm^2}{4\pi r_c^6} \sim \frac{cm^2}{r_c^4} \quad (\text{האנרגיה האודגרת})$$

$$\dot{E} \sim \frac{c \cdot m^2}{c^4} \cdot \Omega^4 \sim \frac{m^2}{c^3} \Omega^4 \quad \text{אולם: } r_c \sim \frac{c}{\Omega} \text{ ולכן:}$$

שלא אורה התנהגות עם סמבאנו קוצר.
 אם השדה המגנטי נמדד ע"י המלקיקים, והוא יורד כמו תפקה
 קטנה יורד גם הכמות, נקרא חלקן יורד וזה כנראה גם שקרה
 במעבדה.

Aligned Rotator

כזה מסתבר א פני השטח של כוכד עם שדה מגנטי. תזו
 מסתובב סביב משהו אחר כי המלקיקים חייבים להיקרע מפני השטח.

התנן הכוכב, איז השטח אין זיה השטח. ולכן:

$$\nabla \cdot \left(\vec{E} + \frac{\vec{v} \times \vec{B}}{c} \right) = 0 \Rightarrow E^{(in)} + \frac{\vec{\Omega} \times \vec{r}}{c} \times \vec{B} = 0$$

↑
כי מוריד

במקרה השטח, לא זיה מגנטי. התקרה לזיה הסיבוב:

$$\vec{B} = B_p R^3 \left(\frac{\cos \theta}{r^3} \hat{\theta}_r + \frac{\sin \theta}{2r^3} \hat{e}_\theta \right) \quad \left[\begin{array}{l} \text{שדה} \\ \text{ציפולי} \end{array} \right]$$

pole-2

$$E^{(in)} = \frac{R \Omega B \sin \theta}{c} \left(\frac{\sin \theta}{2} \hat{e}_r - \cos \theta \hat{e}_\theta \right) \quad \text{רפוי:}$$

בזיק מתחת לפני השטח

9

היות ורכיב המגנטי של השדה החשמלי חייב להיות $\propto \frac{1}{r^3}$, רכיב זה נחזק
רכיב (ז' בני השטר) הוא:

$$E_{\theta}^{(out)} = E_{\theta}^{(in)} = \vec{E}^{(in)} \cdot \hat{e}_{\theta} = -\frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{R \Omega B_p \sin^2 \theta}{2c} \right)$$

$$= \frac{\partial}{\partial \theta} \left[\frac{R \Omega B_p}{3c} P_2(\cos \theta) \right]$$

אזכור: $\nabla^2 \phi = 0$ וריקו, $\vec{E}^{(out)} = -\nabla \phi$

$$\phi = -\frac{B_p \Omega R^5}{3c} \frac{P_2(\cos \theta)}{r^3}$$

כמו הכתמין למעלה רצום, שלא מתדבק ב- ∞ ושהצבת הכיוון θ (שהיא
השדה החשמלי הכיוון זה) היא השדה הנתון. מצאנו את E מקיים שדה
קוויזיבול:

בתוך הכוכב $J=0$ אין זרם $\vec{E} \cdot \vec{B} = 0$ אולם בחוץ, ה- ϕ שמצאנו ניתן

$$\vec{E} \cdot \vec{B} = -\frac{R \Omega}{c} \left(\frac{R}{r} \right)^7 B_p^2 \cos^3 \theta$$

שדה חשמלי ומגנטי:

בפני השטח, אני מקבלים בפרט, שדה חשמלי שהרכיב הכיוון B שלו מתא:

$$E_{\parallel} \sim \frac{R \Omega}{c} B_p \sim 10^8 \left(\frac{R}{s} \right)^{-1} \left(\frac{B}{10^{12} G} \right) \text{ volt.cm}$$

הרכיב E_{\perp} שניצב ל- B , יכול להיות $\propto \frac{1}{r^3}$ הרכיב האחרון השדה המגנטי!

$$\frac{\text{electric force}}{\text{grav. force}} \sim \frac{e B \Omega B_p / c}{G M_* m_e / R^2} \sim 10^9 \gg 1$$

המשמעות היא שאלקטרונים נקרעים מפני השטח של הכוכב!

מסל המתחים לאורך R הוא:

$$E \cdot R \sim 10^8 \cdot 10^6 \simeq 10^{14} \text{ eV} = 10^5 \text{ GeV}$$

זוהי הכנסה יכולה להיות חלקיקים אנרגיה כזו, או אפסטר זיכר, "קסדר" (מפורט - cascade) בה חלקיקים רבים נוצרים עם אנרגיה (מוכח יותר)

Gunn ו-Osticker הניחו זכנו ה-crab : $M \simeq 1.4 M_{\odot}$
 $R = 12 \text{ km}$

וקיטור $I \simeq 1.4 \times 10^{45} \text{ gram}^2$ אנרגיה קינטית של $E = \frac{1}{2} I \Omega^2 = 2.5 \times 10^{43} \text{ erg}$

דה - \dot{p} המזור מקבלים: $\dot{E} = I \Omega \dot{\Omega} = 6.4 \times 10^{38} \text{ erg/sec}$

זה קונסיסטנטי עם התצפיות של פולסי הספן שנתגור סה"כ סיזיו אנרגיה של:

$$\text{kinetic + radiation} \simeq 5 \times 10^{38} \text{ erg/sec}$$

קרוב לאזק, הכי על פנאר את הפולסר אולם בתחום זה דסה"כ $L \sim 10^{31} \text{ erg/sec}$

דה - \dot{E} אבסי הפניק אור B:

קינטי זיכר $\dot{E} = - \frac{B_p^2 R^6 \Omega^4 \sin^2 \alpha}{6c^3} \downarrow \simeq 6.4 \times 10^{38} \text{ erg sec}^{-1}$
מאמח

זה נוסף: $B_p \sin \alpha = 5.2 \times 10^{12} \text{ G}$

11

תוך כמה זמן יצוק השדה המגנטי של הפלוסר?

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) + \frac{c^2}{4\pi\sigma} \nabla^2 \mathbf{B}$$

(זהו משוואת דיפוזיה / אדיקציה של B - MHD) קביעת נקודת

זמן דיפוזיה אופיני: τ_{diff}

אם אופיני τ $\rightarrow \tau \approx \frac{\sigma L^2}{c^2}$

מאזקסוואל, מופיע, נקודת זמן אנליזה יחידה אקראי גודל גלרי

$$\sigma \sim \frac{m_e c^3}{e^2} \approx 10^{23} \text{ s}^{-1}$$

$$\tau_{decay} \sim \frac{\sigma L^2}{c^2} \sim \frac{m_e c R^2}{e^2} \sim 10^6 \text{ yr}$$

ואכן:

אלה 10^6 שנים בהרבה מהזמן האופיני של פלוסרים

(מאות עד עשרות אלפי שנים, לפחות, או אולי במיליארדי שנים)

לכן יש שדה מגנטי שמשך מהספחה גדולה אדירה.