

D01. Stelle di neutroni massive e il ritardo temporale di Shapiro (50 punti)

L'equazione di stato (Equation of State - EoS) della materia ultra-densa nelle stelle di neutroni rimane un importante problema irrisolto nella fisica fondamentale. I modelli teorici che prevedono un'EoS "soft" stabiliscono che le stelle di neutroni devono collassare in buchi neri prima di raggiungere una massa di $2.0 M_{\odot}$. Di conseguenza, una misurazione precisa della massa di una stella di neutroni superiore a $2.0 M_{\odot}$ escluderebbe definitivamente i modelli EoS soft.

Le osservazioni radio della millisecond pulsar PSR J0740+6620, situata in un sistema binario con una nana bianca come compagna, offrono un banco di prova unico per questa previsione. Secondo la Relatività Generale, quando la pulsar passa attraverso la congiunzione superiore, cioè quando si trova dietro la sua compagna, il campo gravitazionale della compagna curva lo spaziotempo. Questo fa ritardare la propagazione degli impulsi radio verso la Terra. Questo fenomeno è noto come ritardo temporale di Shapiro. Assumendo un'inclinazione orbitale edge-on (di taglio, $i \approx 90^\circ$) e un'orbita perfettamente circolare (eccentricità $e = 0$), il ritardo di Shapiro Δt_S è approssimato da

$$\Delta t_S \approx \left(\frac{2GM_{WD}}{c^3} \right) [-\ln(1 - \cos \phi)] + b$$

dove M_{WD} è la massa della nana bianca, ϕ è la fase orbitale ($\phi = 0^\circ$ alla congiunzione superiore) e b è un offset temporale.

Il sistema binario ha un periodo orbitale di $P_b = 4.767$ giorni. La pulsar ha un semiasse maggiore proiettato di $x = 3.978$ secondi, che corrisponde a un raggio orbitale $a_p = cx$. Si assume che le incertezze su P_b e x sono trascurabili.

La tabella seguente presenta 15 osservazioni del ritardo di Shapiro della pulsar in diverse fasi orbitali (ϕ) in prossimità della congiunzione superiore. Si assume un'incertezza di misura costante di $\sigma_t = \pm 1.5 \mu s$ per tutte le osservazioni.

ID	Fase Orbitale ϕ ($^{\circ}$)	Ritardo di Shapiro Δt_S (μs)
1	2.0	18.5
2	-3.0	17.5
3	4.0	16.3
4	-5.0	13.9
5	6.0	12.8
6	8.0	12.5
7	10.0	10.1
8	-12.0	10.3
9	15.0	9.3
10	20.0	6.5
11	-22.0	5.8
12	25.0	6.6
13	30.0	5.0
14	-35.0	4.7
15	40.0	3.9

Parte 1 (26 punti): Stima della massa della nana bianca

- a) (4 punti) Definire le variabili linearizzate appropriate (X e Y), e tabulare i loro valori per 15 coppie di dati.
- b) (18 punti) Traccia un diagramma a punti delle 15 coppie di dati includendo le relative barre di errore disponibili. Sovrapponi la retta di best-fit al tuo grafico. Contrassegna il tuo grafico come "D01.1b". Determina la pendenza a , l'intercetta b , e le rispettive incertezze (σ_a, σ_b).
- c) (4 punti) Determinare la massa della nana bianca (M_{WD}) con il relativo errore (ΔM_{WD}) in unità di $M_{\odot}$.

Parte 2 (13 punti): Dinamica dei sistemi binari e propagazione degli errori

- a) (6 punti) La funzione di massa del sistema binario è definita come

$$f_M = \frac{M_{WD}^3}{(M_{PSR} + M_{WD})^2}$$

dove M_{PSR} è la massa della pulsar. Ricavare l'espressione di f_M in termini delle osservabili a_p e P_b , e poi calcolarne il valore in unità di $M_{\odot}$.

- b) (5 punti) Determinare la massa della pulsar (M_{PSR}) con il relativo errore (ΔM_{PSR}).

c) (2 punti) Determinare di quante deviazioni standard (σ) la massa misurata della pulsar si trova al di sopra del limite di massa superiore previsto dal modello "soft EoS". Quindi, stabilire se il modello può essere escluso.

Parte 3 (11 punti): Tempo di Arrivo (TOA) degli Impulsi: Effetto di Molteplici Fattori

Nel timing delle pulsar binare, diversi effetti fisici fanno sì che il Tempo di Arrivo (time of arrival - TOA) osservato sia intrinsecamente spostato rispetto a un valore di riferimento ideale. Per determinare con precisione la massa della compagna, gli astrofisici devono tenere conto di tre componenti principali del ritardo temporale:

- il ritardo di Shapiro (Δt_S): è causato dalla curvatura dello spaziotempo attorno alla nana bianca compagna e produce uno spostamento minuscolo di $\sim 10\mu\text{s}$.
- il ritardo di Roemer (Δt_R): è la variazione del tempo di arrivo degli impulsi dovuta al movimento della pulsar lungo la sua orbita attorno al centro di massa del sistema binario.
- il ritardo della misura di dispersione (Δt_{DM}): è il ritardo di propagazione che subisce un segnale quando viaggia attraverso il mezzo interstellare ionizzato. Questo ritardo è dato da

$$\Delta t_{DM} = K \cdot DM \cdot \frac{1}{f^2}$$

dove f è la frequenza del segnale osservato, K è la costante di dispersione e DM è la misura di dispersione.

a) (3 punti) Classificazione fisica: Classificare ciascuno dei seguenti meccanismi di ritardo del segnale come acromatico (indipendente dalla frequenza) o cromatico (dipendente dalla frequenza).

Ritardo di Roemer: ☐ Acromatico ☐ Cromatico

Ritardo della misura di dispersione: ☐ Acromatico ☐ Cromatico

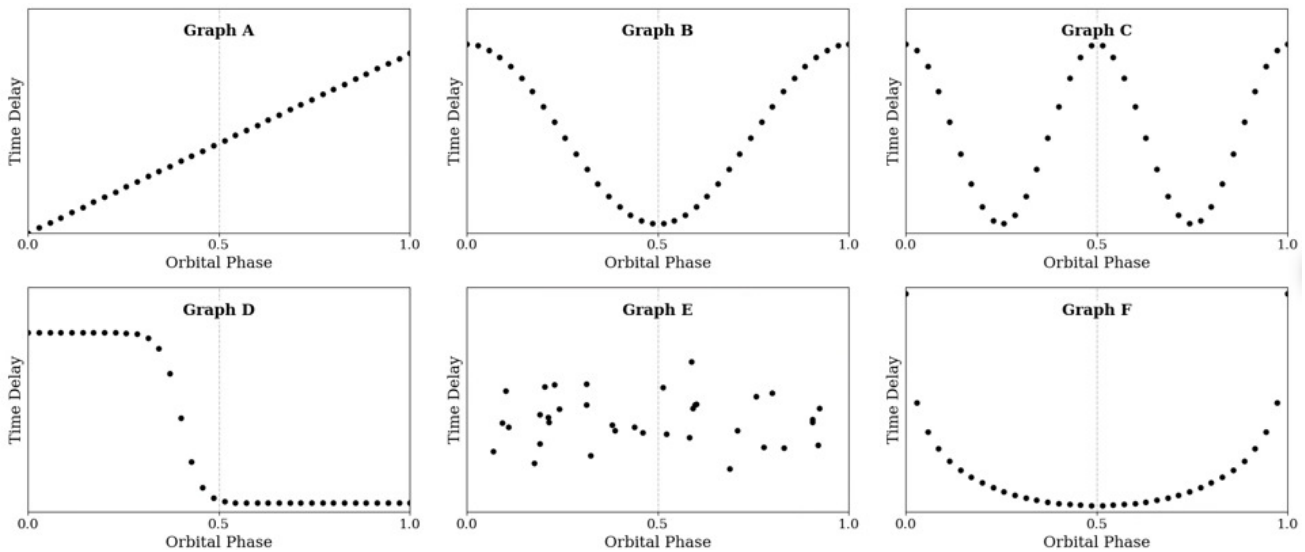
Ritardo di Shapiro: ☐ Acromatico ☐ Cromatico

b) (2 punti) Per comprendere la difficoltà di isolare il ritardo di Shapiro, dobbiamo confrontare le grandezze di questi effetti. Data una frequenza di osservazione $f = 1400 \text{ MHz}$ (banda L standard), una misura di dispersione interstellare media $DM = 15 \text{ pc cm}^{-3}$, e la costante di dispersione $K = 4.15 \times 10^3 \text{ s MHz}^2 \text{ pc}^{-1} \text{ cm}^3$:

b.1) (1 punto) Calcolare Δt_{DM} .

b.2) (1 punto) Disporre i tre ritardi (Δt_R , Δt_{DM} , Δt_S) in ordine decrescente dal più grande al più piccolo.

c) (3 punti) Di seguito sono riportati sei grafici schematici (A-F) che illustrano il ritardo temporale in funzione della fase orbitale nel corso di un'orbita completa. L'asse verticale rappresenta l'ampiezza del ritardo (valori numerici omessi). Abbina ciascuno dei tre meccanismi di ritardo fisico elencati di seguito al grafico che meglio rappresenta la forma attesa.



Ritardo di Roemer [?]

Ritardo della misura di dispersione [?]

Ritardo di Shapiro [?]

d)(3 punti) Strategia osservativa: Le variazioni nel mezzo interstellare fanno sì che ci siano fluttuazioni della misura di dispersione nel tempo, introducendo "rumore di temporizzazione". Seleziona una risposta corretta per ciascuna delle domande seguenti.

d.1) (1 punto) Perché un'osservazione monocromatica (che osserva una singola frequenza) è insufficiente per vincolare un ritardo di Shapiro di appena $10 \mu\text{s}$?

- A) Il ricevitore del telescopio non può elaborare dati più velocemente di $10 \mu\text{s}$.
- B) Le singole frequenze vengono completamente assorbite dal plasma interstellare.
- C) Il sistema contiene molteplici sorgenti di ritardo temporale, quindi i diversi effetti fisici non possono essere distinti da una singola osservazione.
- D) I segnali monocromatici non subiscono la dilatazione temporale gravitazionale.

d.2) (2 punti) Quale strategia osservativa viene utilizzata per misurare e correggere le variazioni della misura di dispersione?

- A) Integrare il segnale su un periodo di un anno per mediare le variazioni della misura di dispersione.
- B) Condurre osservazioni simultanee a due distinte frequenze radio.
- C) Osservare rigorosamente a una frequenza estremamente bassa dove la misura di dispersione può essere ridotta.
- D) Osservare solo la pulsar quando si trova al di fuori della congiunzione superiore.

D02. La Spedizione di Nha Trang (50 punti)

Nel 1910, lo scienziato Alexandre Yersin (scopritore del bacillo della peste bubbonica) stabilì un osservatorio astronomico sul tetto della sua casa a Nha Trang, Vietnam. Lì, utilizzò un astrolabio a prisma di Claude-Driencourt, progettato per registrare l'istante in cui una stella raggiunge

una distanza zenitale fissa ($z = 30.0^\circ$). La seguente tabella di dati riporta alcune osservazioni di Yersin in condizioni atmosferiche di $T = 27.0^\circ\text{C}$ e $P = 1011.0\text{ hPa}$.

Stella	Ascensione Retta (α)	Angolo Orario (H)	Tempo Registrato (T_R)	Azimut (A)
A	$17^{\text{h}}35^{\text{m}}35.55^{\text{s}}$	$+2^{\text{h}}02^{\text{m}}08.95^{\text{s}}$	$19^{\text{h}}36^{\text{m}}53.69^{\text{s}}$	285.0°
B	$19^{\text{h}}59^{\text{m}}52.48^{\text{s}}$	$+1^{\text{h}}47^{\text{m}}50.38^{\text{s}}$	$21^{\text{h}}46^{\text{m}}52.11^{\text{s}}$	245.0°
C	$01^{\text{h}}39^{\text{m}}52.31^{\text{s}}$	$-2^{\text{h}}00^{\text{m}}30.38^{\text{s}}$	$23^{\text{h}}38^{\text{m}}31.61^{\text{s}}$	70.0°
D	$01^{\text{h}}41^{\text{m}}38.84^{\text{s}}$	$-1^{\text{h}}37^{\text{m}}13.18^{\text{s}}$	$00^{\text{h}}03^{\text{m}}35.22^{\text{s}}$	125.0°

Nota: Si noti che A è misurato verso Est a partire dal Nord e H è misurato verso Ovest a partire dal Sud. Per mantenere la coerenza nel problema, riportare le risposte con due cifre decimali salvo diversa indicazione.

Parte 1 (15 punti): Il Problema del Tempo

a) (6 punti) Calcolare la differenza (errore) ΔT tra il tempo siderale locale e il tempo registrato (tempo dell'orologio) per ciascuna stella. Quindi, calcolare la loro media (ΔT_{mean}) e la deviazione standard (σ_T).

b) (3 punti) Calcola la media delle differenze di tempo separatamente per le stelle a Ovest (ΔT_W) e per le stelle a Est (ΔT_E). Determina la discrepanza $\Delta T_W - \Delta T_E$.

c) (6 punti) L'astrolabio presenta un errore sistematico sulla distanza zenitale (dz). Valutare l'incertezza sulla differenza di tempo, $d(\Delta T)$, causata dall'astrolabio. Mostrare che, calcolando la media delle differenze di tempo delle stelle a Est e a Ovest, l'incertezza causata dall'astrolabio può essere ridotta.

Parte 2 (3 punti): Rifrazione Atmosferica

La rifrazione atmosferica, espressa in radianti, è approssimativamente data da

$$R = \frac{7.888 \times 10^{-5} P}{(273.0 + T) \tan(h)}$$

dove P è misurata in hPa, T in $^{\circ}\text{C}$, e h è l'altezza apparente. Calcolare la rifrazione atmosferica (R) in arcosecondi e la vera distanza zenitale (z_{true}).

Parte 3 (15 punti): Le linee di posizione di Yersin

a) (5 punti) Yersin adottò una latitudine presunta del suo osservatorio pari a $\phi_0 = 12^{\circ}15'00''$ N, e un errore di tempo presunto $\Delta T_0 = 50$ s. Per determinare come piccoli errori nella latitudine ($d\phi$) e nel tempo dell'orologio (dT) influenzano la distanza zenitale osservata, partiamo dalla legge sferica dei coseni per il triangolo Polo-Zenit-Stella (PZS):

$$\cos z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos H \quad (1)$$

Prendendo il differenziale di questa equazione rispetto alla latitudine ϕ e all'angolo orario H (riconoscendo che $dH = -15 \cos \phi dT$ a causa della rotazione terrestre), si mostri che una variazione di latitudine e di tempo produce uno spostamento nella distanza zenitale data da:

$$dz = -\sin A \cos \phi dH - \cos A d\phi$$

Usando la definizione dell'intercetta $p = z_{\text{calc}} - z_{\text{true}} = -dz$ (z_{calc} è la distanza zenitale calcolata e z_{true} quella vera) e definendo le correzioni spaziali $x = \cos \phi dH$ (correzione dell'orologio Est-Ovest in arcosecondi) e $y = d\phi$ (correzione della latitudine Nord-Sud in arcosecondi), l'equazione della Linea di Posizione (LOP) è definita come:

$$p = x \sin(A) + y \cos(A)$$

Suggerimenti: Prendendo la derivata dell'equazione (1) si ottiene:

$$-\sin z dz = (\cos \phi \sin \delta - \sin \phi \cos \delta \cos H) d\phi - (\cos \phi \cos \delta \sin H) dH$$

b) (10 punti) Dopo aver ridotto i dati grezzi, si ottiene la seguente tabella.

Stella	Azimut (A)	Intercetta (p)
A	285.0°	$-0.40''$
B	245.0°	$-18.77''$
C	70.0°	$+18.08''$
D	125.0°	$-8.15''$

Tracciare le quattro LOP sul piano (x, y) (contrassegnare il grafico come "D02.3b"). Determinare graficamente il centro della regione di intersezione comune (x_0, y_0).

Parte 4 (17 punti): Recupero della posizione dell'Osservatorio Yersin e analisi degli errori

- a) (4 punti) Determinare la vera latitudine dell'osservatorio (ϕ_{true}) e il vero errore temporale (ΔT_{true}) utilizzando la correzione temporale $dT_{\text{corr}} = x_0 / (15 \cos \phi_0)$ (in secondi). Si assume che $d\phi = \phi_{\text{true}} - \phi_0$.
- b) (8 punti) Calcolare l'errore sistematico (dz) dell'astrolabio (in arcosecondi) utilizzando la differenza di tempo Est-Ovest; assumendo che l'azimut medio per le stelle a Est sia 90° e per le stelle a Ovest sia 270° .
- c) (2 punti) Calcolare l'errore casuale di osservazione $\varepsilon = |x_0 \sin(A) + y_0 \cos(A) - p_{\text{obs}}|$ per le quattro stelle.
- d) (3 punti) Calcolare l'errore di posizione d (in metri) tra le coordinate supposte dell'osservatore e la posizione vera calcolata (x_0, y_0). Si assuma che $1''$ di distanza angolare corrisponda a 31 m sulla superficie terrestre.

D03. Il Mistero dei "Puntini Rossi" (50 punti)

Recenti osservazioni del James Webb Space Telescope (JWST) hanno rivelato una popolazione di galassie compatte e rosse nell'universo primordiale, formalmente designate come "Little Red Dots" (LRD). I loro spettri implicano la presenza di Buchi Neri Supermassicci (SMBH) con masse che appaiono sproporzionatamente grandi rispetto alle galassie che li ospitano. Per verificare in modo indipendente le masse di questi buchi neri, sono stati proposti come strumento osservativo gli Eventi di Disruzione Mareale (Tidal Disruption Events - TDE). Un TDE si verifica quando una stella passa sufficientemente vicino a un SMBH e viene distrutta dalle forze mareali, producendo un brillamento luminoso mentre i detriti accrescono. In questo problema, analizzerai i dati osservativi degli LRD, dedurrai le loro relazioni di scala, valuterai il collasso dei modelli dinamici standard e calcolerai i parametri per una futura missione di rilevamento cosmico.

Parte 1 (28 punti): Leggi Empiriche e Significato Fisico

Si assuma che la massa del SMBH centrale (M_{BH}) e la massa stellare totale (M_*^{tot}) della galassia ospite seguano una relazione di scala:

$$\log M_{\text{BH}} = \alpha + \beta \log M_*^{\text{tot}}$$

I dati osservativi per 10 LRD rappresentativi (masse espresse in $M_\odot$) sono forniti nella Tabella D03.1.

Tabella D03.1. Dati LRD.

ID LRD	$\log M_*^{\text{tot}}$	$\Delta \log M_*^{\text{tot}}$	$\log M_{\text{BH}}$	$\Delta \log M_{\text{BH}}$
1	8.33	0.24	6.93	0.14
2	8.30	0.30	6.40	0.30
3	7.99	0.37	7.19	0.12
4	8.96	0.46	8.47	0.02
5	8.70	0.36	6.74	0.17
6	8.16	0.43	7.26	0.11
7	9.01	0.43	7.37	0.03
8	8.65	0.39	7.56	0.08
9	8.29	0.35	7.52	0.08
10	8.65	0.41	7.86	0.06

a) (5 punti) Definendo $x_i = \log M_{*,i}^{\text{tot}}$, $y_i = \log M_{\text{BH},i}$, e l'incertezza efficace semplificata ($\sigma_{\text{eff},i}$) per ciascun dato come

$$\sigma_{\text{eff},i} = \sqrt{(\Delta x_i)^2 + (\Delta y_i)^2}$$

Inserire i valori dei pesi statistici $w_i = 1/\sigma_{\text{eff},i}^2$ nel foglio delle risposte.

b) (12 punti) Disegna 10 dei dati (x_i, y_i) con barre di errore sia orizzontali che verticali su carta millimetrata (contrassegna il tuo grafico come "D03.1b").

c) (7 punti) Applica il metodo di regressione ai minimi quadrati pesati (WLS) utilizzando i pesi calcolati w_i per determinare i valori centrali e gli errori standard per la pendenza ($\beta \pm \Delta\beta$) e l'intercetta ($\alpha \pm \Delta\alpha$). Sovrapponi la retta di "best-fit" risultante sul tuo grafico. Per il calcolo, puoi fare affidamento sulle formule WLS standard fornite di seguito:

$$S_w = \sum w_i, \quad S_x = \sum w_i x_i, \quad S_y = \sum w_i y_i$$

$$S_{xx} = \sum w_i x_i^2, \quad S_{xy} = \sum w_i x_i y_i, \quad \Delta = S_w S_{xx} - (S_x)^2$$

$$\beta = (S_w S_{xy} - S_x S_y) / \Delta, \quad \alpha = (S_{xx} S_y - S_x S_{xy}) / \Delta, \quad \Delta\alpha = \sqrt{S_{xx} / \Delta}, \quad \Delta\beta = \sqrt{S_w / \Delta}$$

(Nota: Poiché questa regressione incorpora pesi statistici (w_i), la retta di "best-fit" risultante potrebbe visivamente discostarsi da ciò che ci si aspetterebbe da un adattamento lineare standard non pesato.)

d) (4 punti) Seleziona la risposta più accurata per ogni domanda.

d.1) (2 punti) L'andamento positivo osservato ($\beta > 0$) implica una tendenza coevoluzionaria, eppure le LRD ospitano buchi neri sproporzionatamente massicci rispetto alle loro galassie ospitanti. Cosa suggerisce più probabilmente questa combinazione riguardo all'universo primordiale?

- A. I buchi neri superano inizialmente le loro galassie ospitanti (componente stellare), sia formandosi da aggregazioni massicce sia subendo un accrescimento estremo nelle prime fasi.
- B. Le galassie raggruppano completamente la loro massa stellare molto prima che il buco nero centrale inizi la sua rapida crescita.
- C. La formazione stellare e l'accrescimento del buco nero sono strettamente sincronizzate, mantenendo lo stesso ritmo nel corso dell'intera storia cosmica.
- D. Gli aloni di materia oscura sopprimono la crescita del buco nero finché la galassia ospitante non raggiunge una soglia di massa critica.

d.2) (2 punti) I dati mostrano una grande dispersione nelle stime della massa stellare ($\Delta \log M_*^{\text{tot}}$) per gli LRD. Qual è la ragione fisica principale che causa questa sostanziale incertezza ad alto redshift ($z \approx 5$)?

- A. La polvere interstellare assorbe significativamente le emissioni X del buco nero, alterando il rapporto massa-luminosità.
- B. Le rapide collisioni stellari nel denso nucleo galattico creano eventi luminosi transitori che simulano una massa stellare maggiore.
- C. I sensori UV del James Webb Space Telescope subiscono un rumore termico estremo durante le osservazioni a ($z \approx 5$).
- D. Il disco di accrescimento luminoso supera in luminosità il continuo stellare, rendendo difficile isolare la luce della galassia ospitante.

Parte 2 (6 punti): Modello Dinamico Standard

Si assume che la distribuzione spaziale della massa stellare della galassia ospitante segua un profilo di densità sferica di Dehnen,

$$\rho(r) = \frac{(3 - \gamma)}{4\pi} M_*^{\text{tot}} \frac{a}{r^\gamma (r + a)^{4-\gamma}}$$

dove a è il raggio di scala (un parametro fondamentale che segna la zona di transizione in cui il profilo di densità di massa passa tra le pendenze logaritmiche interna ed esterna) e γ definisce la pendenza della densità interna $0 < \gamma < 3$. Il raggio di influenza del buco nero (r_h) è definito come il raggio in cui la massa stellare racchiusa è uguale alla massa del buco nero: $M_*(r_h) = M_{\text{BH}}$. La componente stellare ha una velocità di dispersione isotropa $\sigma(r)$ e $M(r)$ rappresenta la massa totale racchiusa entro il raggio r .

a) (2 punti) Considera una galassia tipica. Applicando l'ipotesi del "nucleo isotermico" ($\sigma = \text{const}$) alla regione $r_h \leq r \ll$, si ha che il raggio di scala a porta a $\gamma = 2$. Pertanto, la massa stellare racchiusa è data da

$$M_*(r) = M_*^{\text{tot}} \left(\frac{r}{r+a} \right)$$

Ricava l'espressione per r_h in termini del raggio di scala a e del rapporto di massa $M_{\text{BH}}/M_*^{\text{tot}}$.

b) (4 punti) Sulla base del risultato del punto a), calcolare il rapporto r_h/a per LRD ID 4 nella Tabella D03.1. Perché l'ipotesi standard di "nucleo isotermico" non è valida per questo oggetto? Selezionare la spiegazione più accurata:

- A. Il rapporto indica che la massa stellare supera di gran lunga quella del buco nero, rendendo l'equazione di Jeans inapplicabile.
- B. Il rapporto è incredibilmente piccolo, il che significa che il buco nero non ha alcuna influenza gravitazionale sul nucleo.
- C. Il raggio di influenza del buco nero si estende profondamente nel raggio di scala.
- D. Il rapporto dimostra che il raggio di scala a si sta riducendo nel tempo a causa delle interazioni con la materia oscura.

Parte 3 (16 punti): Fisica della Distruzione e Barriere dei Dati

a) (7 punti) Considera una stella di massa m_* e raggio R_* che si avvicina all'SMBH a distanza $r \gg R_*$. La forza mareale è definita come la differenza tra le forze gravitazionali esercitate dall'SMBH al centro della stella e alla sua superficie. Il raggio mareale $r = r_t$ è determinato bilanciando la forza mareale con la forza auto-gravitazionale della stella alla sua superficie. Ricava r_t .

Se r_t è minore del raggio di Schwarzschild ($R_S = 2GM_{\text{BH}}/c^2$), la stella viene inghiottita intatta anziché distrutta. La massa del buco nero per cui $r_t = R_S$ è definita come la massa di Hills, M_H . Ricava M_H in termini di m_* , R_* e calcola il suo valore numerico (in $M_\odot$) per una stella simile al Sole.

b) (4 punti) Utilizzando i risultati ($\alpha \pm \Delta\alpha, \beta \pm \Delta\beta$) ottenuti dalla domanda c) della Parte 1, determinare la massa stellare massima ($\log M_{*,\text{max}}^{\text{tot}}$) che una galassia può avere pur ospitando potenzialmente un TDE osservabile di una stella simile al Sole (richiedendo $M_{\text{BH}} = M_H$). Quindi, calcolare l'intervallo (da Min a Max) di $\log M_{*,\text{max}}^{\text{tot}}$. Sulla base dei valori estremi, selezionare l'affermazione più accurata riguardo all'affidabilità predittiva di questo modello:

- A. Il modello è altamente affidabile. L'intervallo calcolato racchiude perfettamente le masse tipiche delle galassie osservate che ospitano buchi neri supermassicci.
- B. Il modello manca di potere predittivo. Il limite inferiore è circa la massa di un piccolo ammasso stellare, e il limite superiore supera la massa dell'universo osservabile.
- C. Il modello fallisce completamente perché una regressione lineare ai minimi quadrati ponderata non può essere applicata matematicamente a dati astronomici logaritmici.
- D. Il modello è affidabile, ma il limite inferiore non fisico indica che dobbiamo regolare manualmente il raggio di scala per correggere la dispersione dei dati.

c) (5 punti) Progettazione di una Missione Cosmica

Si assuma una popolazione cosmologica all-sky di $N \approx 1.021 \times 10^8$ LRD localizzati attorno al redshift $z = 5$. Il tasso intrinseco (nel sistema a riposo) di TDE per galassia è stimato essere $\langle \dot{N}_{\text{TDE}} \rangle \approx 2.01 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$. Assumendo che il numero di TDE rilevati dagli LRD sia 5 durante 1 anno di osservazione continua, quale frazione minima (in percentuale) della sfera celeste deve coprire l'area del rilevamento?