

Il ciclo di vita della Materia

Primo Galletti

Aldo Aluigi

7 novembre 2005

La scoperta della esistenza dei *Quasar a Nucleo Multiplo* (QNM), attraverso la registrazione delle onde gravitazionali di grande intensità (“forchette”) che stiamo effettuando da oltre 10 anni con il nostro rivelatore ci ha consentito di comprendere *come è fatto e come funziona* l’Universo.

*L’Universo risulta molto diverso rispetto a quanto ci viene oggi proposto con il Big-Bang*¹. Si riassumono, qui di seguito, le differenze più importanti.

1. *Non c’è mai stato alcun “big-bang”*. Pertanto, non c’è mai stato un *inizio* per l’Universo il quale, se si escludono le disomogeneità locali prodotte dalla presenza dei QNM, è sempre stato più o meno come lo vediamo ora.
2. *L’Universo è omogeneo e stazionario solo su grande scala*. I QNM che abitano i centri degli ammassi di galassie creano concentrazioni locali di materia. A seguito dei collassi generali si creano nell’Universo delle zone “vuote” le quali possono rimanere tali anche per molto tempo.
3. *L’Universo non ha confini* ed è in costante e perenne espansione in accordo, su grande scala, con la *Legge di Hubble*. In teoria, noi possiamo vedere fino ad una distanza in cui la velocità di espansione risulta uguale a quella della luce.
4. *L’Universo si mantiene sempre giovane*. Con il meccanismo dei collassi, i QNM esplellono dall’Universo la “vecchia” materia la quale verrà, poi, rimpiazzata con la “nuova” materia che “nasce” sotto forma di *nubi di idrogeno neutro* le quali formeranno nuove galassie che andranno, col tempo, a riempire le zone “vuote” dell’Universo.
5. *La radiazione cosmica di fondo a microonde (CMB) è prodotta solo in minima parte dalle reazioni di fusione nucleare che avvengono nelle stelle*. La maggior parte di essa viene generata a seguito della caduta della materia sui nuclei dei QNM.
6. *La materia “oscura” non esiste*. Esiste, invece, l’effetto prodotto dall’*addensamento dello spazio (“fisico”) prodotto dalla materia e che ne rappresenta il campo gravitazionale*.
7. *L’energia “oscura” non esiste*. Con il collasso dei nuclei dei QNM viene “rilasciato” lo spazio addensato che questi trattenevano intorno a sé il quale *espandendosi consente all’Universo di “allargarsi”*.

¹Si vedano anche le Parti 3 e 5 di **Un rivelatore di Onde Gravitazionali: Nascita e Morte della Materia**.

1 Quasar a Nucleo Multiplo

I QNM sono oggetti supermassicci formati da un elevato numero di nuclei (fino a qualche decina) che orbitano strettamente l'uno intorno all'altro come fanno le stelle di un ammasso globulare compatto. Si tratta di oggetti celesti che vivono all'interno degli ammassi di galassie e che si “nutrono” con la materia di cui sono costituite quest'ultime.

È importante sottolineare che, a causa del gas ad altissima temperatura che li avvolge, *la struttura interna di questi particolari quasar non può essere rilevata mediante i normali telescopi ma soltanto attraverso le onde gravitazionali prodotte dai collassi dei nuclei che li costituiscono.*

1.1 La formazione dei QNM

La formazione di un QNM ha inizio nelle galassie (ellittiche) giganti che sono le più vecchie e massicce. Queste galassie che hanno avuto la “fortuna” di non cadere, durante la loro esistenza, nel campo gravitazionale di un QNM hanno continuato a crescere alimentate dalla materia presente nelle loro vicinanze (nubi di idrogeno, ammassi stellari, piccole galassie, etc...). Al loro interno si forma ben presto una concentrazione di materia molto attiva che viene oggi comunemente chiamata *Nucleo Galattico Attivo* (NGA) che con il passare del tempo diventa sempre più massiccio, acquistando una propria identità (*quasar comune*)².

Con la crescita del quasar al suo interno, aumentano progressivamente le capacità attrattive della galassia accelerandone, quindi, il ritmo di crescita. Quando il quasar è diventato sufficientemente massiccio, la galassia inizia ad assumere le sembianze di un QNM anche se ha, all'interno, un solo nucleo.

Come avviene la “cattura” di una galassia da parte di un QNM? Quando il campo gravitazionale del QNM investe la galassia, inizia dapprima con lo strappagli via stelle, pianeti, etc... che si trovano nella periferia. Se la galassia “preda” è abbastanza grande, il suo centro ospita, a sua volta, un nucleo. La cattura di questo corpo molto più massiccio avviene in modo diverso, in quanto il campo gravitazionale del QNM non riesce a trascinarlo sulla sua superficie. Il nucleo che è in grado di “resistere” viene annesso mantenendo la propria identità andando, così ad aumentare di una unità il numero di nuclei di quest'ultimo.

All'inizio, il processo di formazione del QNM richiede tempi piuttosto lunghi. Successivamente, man mano che i nuclei crescono sia di dimensioni che di numero, il ritmo di crescita accelera in modo sempre più marcato. Una volta esaurita la materia che si trova nelle sue vicinanze, il QNM rallenta la sua crescita la quale viene a dipendere dalla nascita nei suoi dintorni di “nuova” materia. Pertanto, *non è possibile attribuire un'età ben precisa a questi oggetti celesti che possono vivere anche per centinaia di miliardi di anni!* Possiamo solo dire, genericamente, che *un QNM è tanto più vecchio quanto maggiore è il numero di nuclei di cui risulta costituito.*

²Oggi, questa stretta parentela tra NGA e quasar (comune) non viene accettata dagli astrofisici i quali, condizionati dal modello cosmologico del Big-Bang, attribuiscono ai quasar il ruolo di oggetti primordiali dell'Universo, intorno ai quali la materia (galassie) ha iniziato il suo ciclo di formazione.

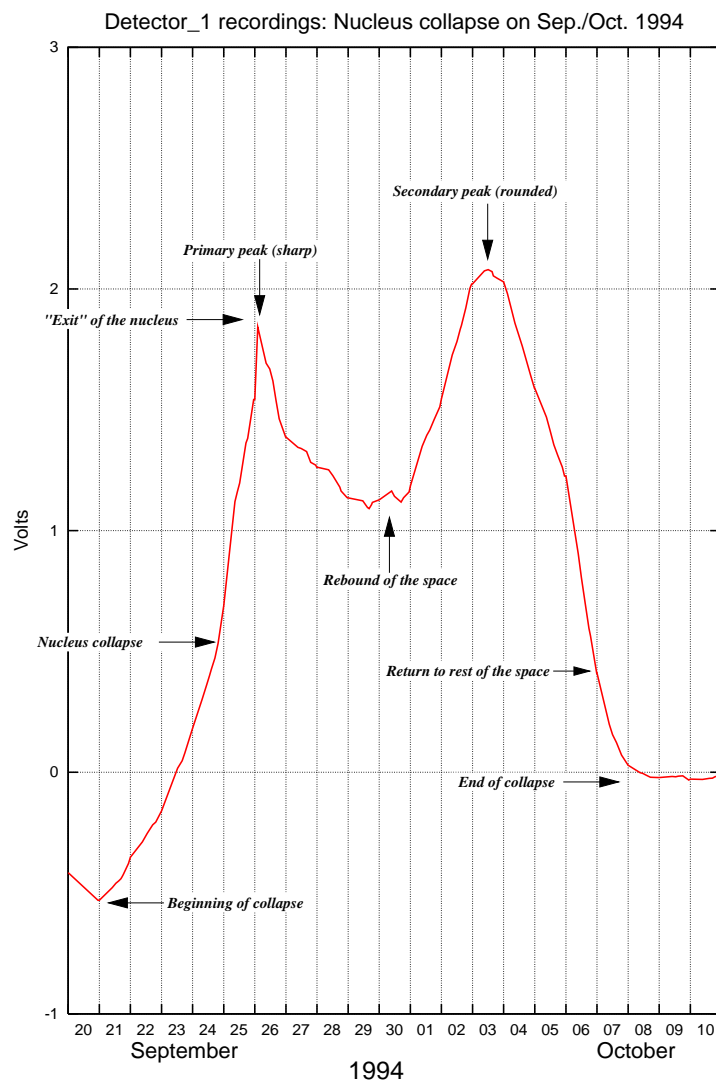


Figura 1: Le fasi di collasso di un nucleo.

1.2 Il collasso dei QNM

Man mano che la materia cade sul nucleo di un QNM la sua massa aumenta e per cui aumenta l'addensamento dello spazio e, quindi, il suo campo gravitazionale. All'aumentare della densità dello spazio, da un lato aumenta la pressione (gravitazionale) che questo esercita sulla materia, e dall'altro lato aumentano sia permittività dielettrica che la permeabilità magnetica per cui diminuisce la velocità (locale) della luce. Ma con il diminuire della velocità della luce, diminuisce (quadraticamente) l'energia elettromagnetica posseduta dalla materia e, di conseguenza, la pressione che questa esercita sullo spazio circostante che contro-bilancia quella gravitazionale. Il nuovo equilibrio viene raggiunto con una contrazione delle dimensioni del nucleo. Al di sotto di certe dimensioni (critiche) la materia non è più in grado di "resistere" alla gravità per cui ha inizio,

improvvisamente, il collasso ³.

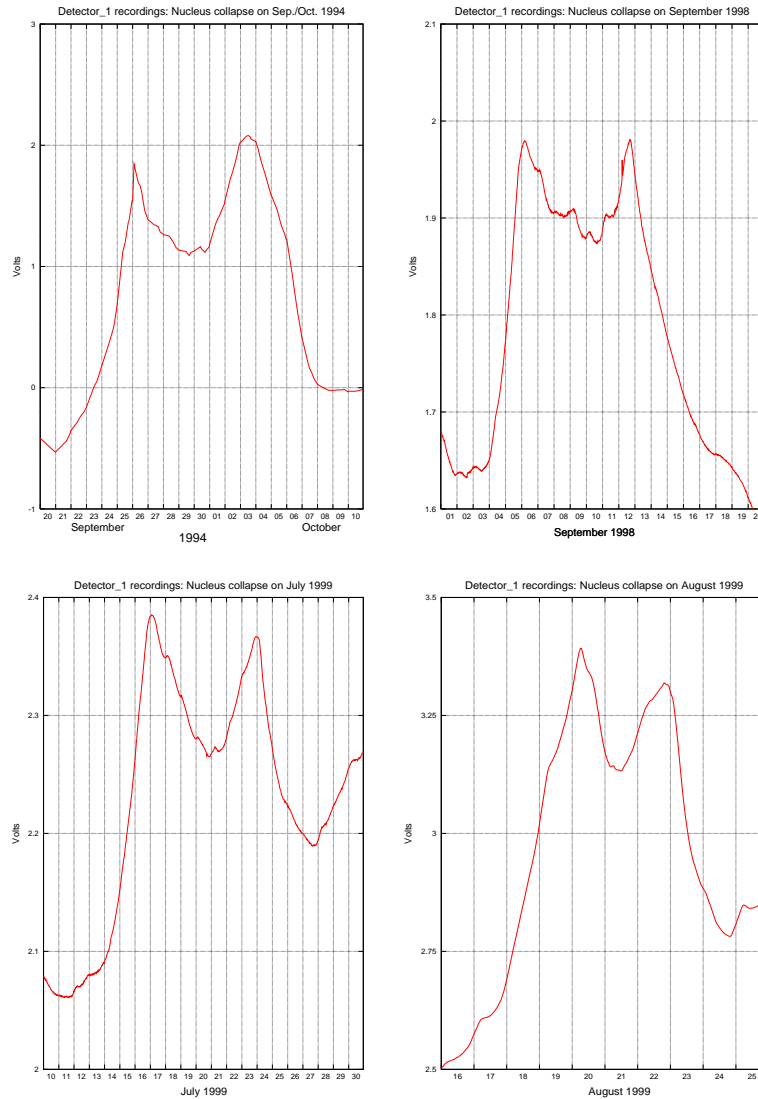


Figura 2: Esemplici di “forchette” registrate con il rivelatore.

Il collasso del nucleo produce un’onda gravitazionale avente la forma caratteristica di una “forchetta” positiva (v. **Figura 1**). La fase di collasso è rappresentata dal fronte di salita della “forchetta” e avviene alla velocità (locale) della luce, la quale aumenta progressivamente man mano che si riducono le dimensioni ⁴. Il collasso prosegue fino a che le dimensioni del nucleo raggiungono un valore tale da provocare la “curvatura” dello spazio intorno al nucleo. In tale circostanza noi diciamo che il nucleo è “uscito” dall’Universo in quanto *non fa più sentire i suoi effetti gravitazionali*. Ossia, con la

³Si veda anche la Parte 6 di **Un rivelatore di Onde Gravitazionali: Il collasso dei Quasar a Nucleo Multiplo**.

⁴Si tenga presente che il segnale del rivelatore (Volt) è direttamente proporzionale alla variazione della velocità della luce.

“curvatura” dello spazio viene reciso il legame tra la materia e lo spazio circostante. La “uscita” del nucleo dall’Universo è rappresentata dal picco primario (appuntito).



Figura 3: “Ingressi” e “uscite” di nuclei dall’Universo.

Durante la fase di collasso, lo spazio addensato intorno al nucleo si mette in moto verso il centro, acquistando progressivamente velocità e, quindi, energia cinetica ⁵. Lo spazio, una volta raggiunto il centro rimbalza su se stesso producendo una contrazione locale rappresentata dall’avvallamento dell’onda, seguita da una espansione rappresentata dal secondo picco (arrotondato) presente sull’onda. Dopodichè lo spazio torna a riposo senza ulteriori oscillazioni. La **Figura 2** riporta alcuni esemplari di “forchette” registrate durante questi anni.

Il nucleo rimane “sepolto” nello spazio nel punto dove è “uscito”. In futuro, a se-

⁵Lo spazio che si trova all’interno del nucleo collassa ed “esce” insieme alla materia, come viene dimostrato dalla intensità molto elevata dell’onda.

guito di perturbazioni gravitazionali locali molto forti, quali quelle prodotte dal collasso di altri nuclei, questo potrebbe “riemergere”, grazie anche all’energia elettromagnetica residua che ancora possiede la quale può prendere nuovamente il sopravvento su quella gravitazionale. Quando un nucleo “ri-emerge” si produce un’onda gravitazionale a forma di “forchetta” rovesciata. Nella **Figura 3** sono riportate alcune registrazioni di questi eventi. Il “rientro” del nucleo è solo temporaneo perché non appena la perturbazione si è estinta la densità dello spazio torna al suo valore originale e il nucleo scompare nuovamente.

L’aumento della risoluzione temporale (1 lettura al minuto invece che 1 lettura ogni 20 minuti) nelle acquisizioni che si è avuta a partire dai primi mesi del 2001, ci ha rivelato un particolare di grande interesse riguardante il momento della “uscita” del nucleo dall’Universo. Il grafico riportato nella **Figura 4** riporta la registrazione, effettuata nell’Agosto 2001, di uno di questi momenti. Si tratta di una registrazione eccezionale perché in quell’istante non erano presenti disturbi dovuti dall’arrivo di altre onde. Il grafico ci mostra, per la prima volta, come un corpo celeste che, come vedremo più avanti, possiede una massa dell’ordine del miliardo di masse solari possa “sparire” in così breve tempo! Dal grafico è stato possibile attribuire un limite superiore al tempo di “uscita”, del nucleo. Infatti, poiché l’inversione di pendenza del segnale si è avuta in meno di 1 minuto e la “forchetta” aveva un redshift $z = 5.5$, dividendolo questo tempo per l’allargamento dell’onda ($w = z + 1 = 5.5 + 1 = 6.5$) si ottiene un tempo effettivo inferiore a 10 secondi.

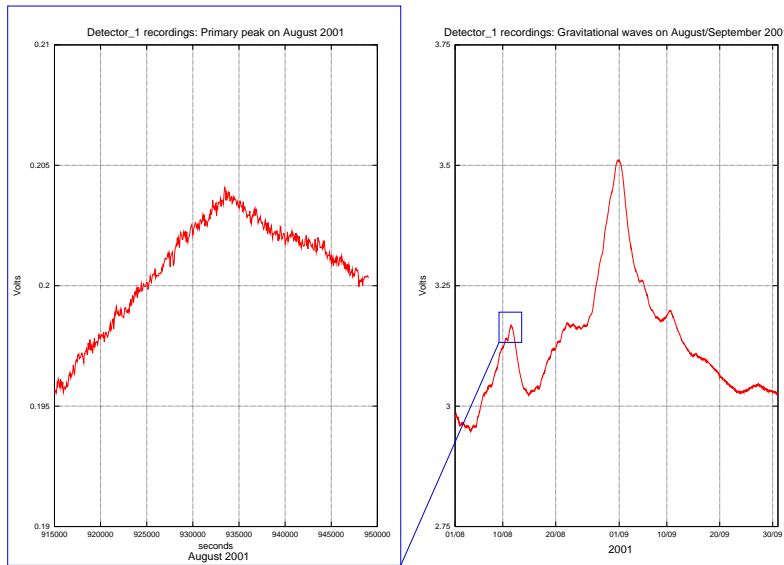


Figura 4: Picco primario prodotto dalla “uscita” del nucleo dall’Universo.

1.3 Le dimensioni di un QNM

A volte, quando un nucleo collassa può fare da detonatore ad altri che gli sono vicini, innescando una serie di collassi a catena fino all’esaurimento di quelli più massicci. I nuclei più piccoli non ancora in grado di collassare vengono dispersi dalla espansione dello spazio e in futuro, quando si saranno formate nuove galassie, potranno attivare nuovi cicli di collassi.

Il grafico riportato nella **Figura 5** mostra molto bene il *collasso generale di un QNM* registrato tra il 2001 e il 2003. In questo caso il nucleo che è collassato per primo si doveva trovare nella periferia del QNM dove erano presenti altri 2-3 nuclei. Le onde gravitazionali prodotta da questi primi collassi ha raggiunto il centro del QNM dove era presente un numero maggiore di nuclei provocando una serie di collassi a catena le cui onde propagandosi hanno fatto, successivamente, collassare gli altri nuclei più esterni rimasti. Le onde hanno un redshift di $z = 8.5$ (allargamento pari a $w = 8.5 + 1 = 9.5$, il QNM si trovava, al momento del collasso ad una distanza di $r_0 = 8.5/9.5 R_U$). Poichè il tempo impiegato dalle prime onde gravitazionali a raggiungere il centro del QNM risulta pari a circa *14 mesi*, se si effettuano, anche qui, le correzioni per il redshift possiamo ricavarne le sue dimensioni (raggio) effettive:

$$R_{QNM} \approx \frac{14}{8.5 + 1} = 1.5 \text{ mesi} - \text{luce}$$

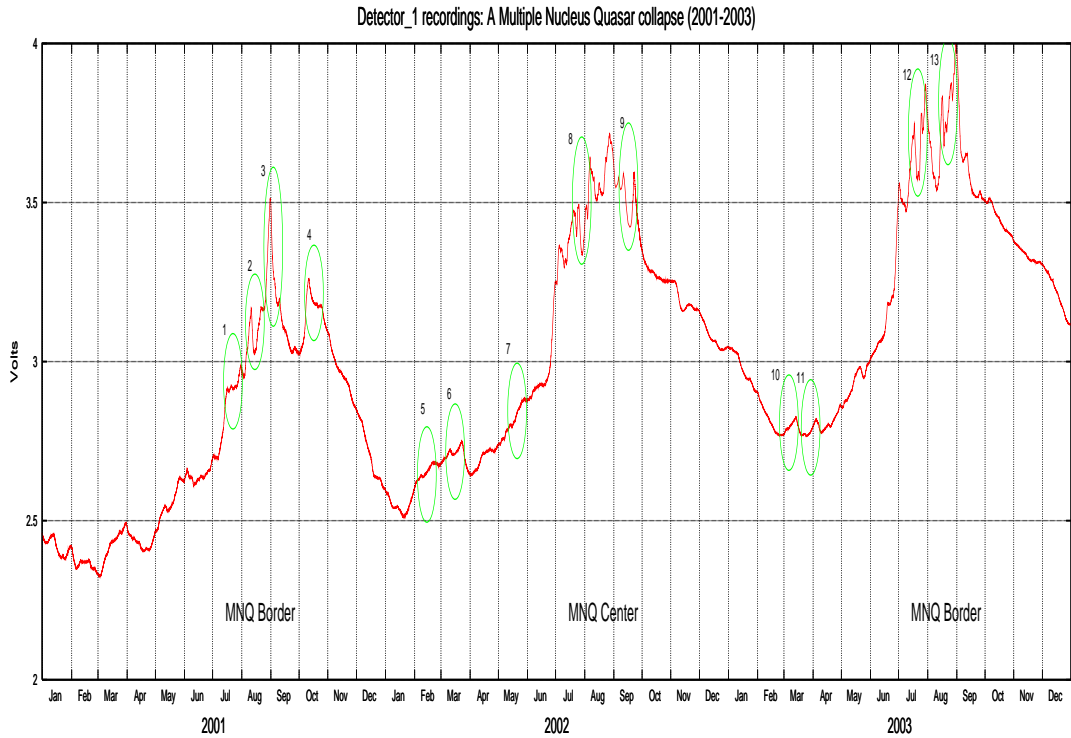


Figura 5: Collasso generale di un QNM (2001-2003).

1.4 Numero di collassi che avvengono nell'Universo

In precedenza, sulla base delle registrazioni effettuate con il **Rivelatore N. 1**, si era stimato che potessero avvenire nella porzione visibile dell'Universo una cinquantina di collassi/anno ⁶. Con la messa in servizio, avvenuta alla fine del 2002, del **Rivelatore**

⁶Si veda la Parte 3 di **Un rivelatore di Onde Gravitazionali: Nascita e morte della materia.**

N. 3b, tale stima è stata aggiornata in quanto questo secondo rivelatore ha mostrato di possedere una sensibilità migliore per i collassi a più alto redshift. Dal confronto tra i due rivelatori è stato possibile stabilire un numero medio di collassi all'anno di circa 25, ma occorre tenere presente che tale conteggio deve essere corretto per:

- 4, per tenere conto dell'effetto di “rallentamento” dei conteggi dovuto al redshift (v. **Appendice A.1**);
- circa $1/0.80$, per tenere conto che il rivelatore è in grado di vedere abbastanza bene soltanto l'80% dell'Universo visibile (ossia, fino ad un redshift di circa $z = 12 \div 15$), infatti:

$$\frac{z^3}{(z+1)^3} \approx 0.80$$

La nuova stima risulta, pertanto, la seguente:

$$\Delta n_N \approx \frac{4 \cdot 25}{0.80} \approx 125 \text{ nuclei/anno}$$

2 L'espansione dell'Universo

Con il collasso e la conseguente “uscita” dall'Universo del nucleo, lo spazio addensato che questo tratteneva intorno a sé viene “rilasciato”. Il rimbalzo su se stesso e la successiva espansione producono un allontanamento degli oggetti celesti presenti nei dintorni del QNM.

L'espansione dell'Universo è, dunque, prodotta dal collasso dei nuclei dei QNM e le “forchette” registrate dal nostro rivelatore sono la testimonianza diretta del fenomeno! Queste onde, inoltre, servono a disperdere l'energia (gravitazionale), accumulata dai nuclei durante la loro crescita, trasformandola in energia cinetica (di espansione).

Poichè il collasso un fenomeno legato al raggiungimento di condizioni di “massa critica” dei i nuclei, *la quantità di spazio che viene rilasciato ad ogni collasso è, più o meno, sempre la stessa per cui quanti più nuclei collassano in un anno, tanto maggiore risulta il rateo di espansione dell'Universo. L'espansione dell'Universo non avviene, quindi, in modo continuo ma a “scatti”*: ogni “scatto” corrisponde al collasso di un nucleo e nelle zone dell'Universo dove avvengono più collassi la velocità di espansione risulta (localmente) maggiore. In termini propriamente geometrici non sarebbe molto corretto parlare di *Raggio dell'Universo* (visibile), il quale avrebbe significato soltanto in termini medi (sia spaziali che temporali).

La quantità di spazio ΔQ_U necessaria, per espandere l'Universo è data da:

$$\frac{\Delta Q_U}{\Delta t} = 4 \pi R_U^2 \delta c \tag{1}$$

e poichè il raggio R_U dell'Universo visibile è legato al tempo caratteristico di espansione τ_U dalla seguente relazione ⁷:

$$\tau_U = \frac{R_U}{3 c} = \frac{15 \cdot 10^9}{3} = 5 \cdot 10^9 \text{ anni} \tag{2}$$

⁷Si veda anche **Espansione dell'Universo e Redshift**, in cui si riporta anche il legame tra τ_U e la costante di Hubble H_0 . I calcoli che seguiranno fanno riferimento ad un raggio dell'Universo visibile di $R_U = 15 \text{ miliardi di anni - luce}$ ($\equiv 1.42 \cdot 10^{26} \text{ m}$).

la (1) diventa: ⁸:

$$\Delta Q_U = 36 \pi \tau_U^2 \delta_\infty c_\infty^3 \Delta t \quad (3)$$

Se consideriamo un intervallo di tempo $\Delta t = 1 \text{ anno}$, sostituendo i valori numerici la (3) fornisce:

$$\Delta Q_U = \frac{36 \pi (5 \cdot 10^9)^2 (365 \cdot 86,400)^2 8.1 \cdot 10^{42}}{2 \cdot 10^{30}} = 3.6 \cdot 10^{56} M_\odot / \text{anno}$$

Ora, se dividiamo il valore ΔQ_U per il numero Δn_N di nuclei che collassa in un anno, si ottiene la quantità di spazio, Q_N , che viene “rilasciato” ad ogni collasso. Si ha:

$$Q_N = \frac{\Delta Q_U}{\Delta n_N} = \frac{3.6 \cdot 10^{56}}{125} = 2.9 \cdot 10^{54} M_\odot \quad (4)$$

il quale, per quanto è stato poc’anzi detto, *rappresenta anche il campo gravitazionale del nucleo e quindi la sua massa gravitazionale al momento del collasso.*

Possiamo, calcolare anche l’energia cinetica ΔT_U di espansione dell’Universo. Si ha:

$$\Delta T_U = \frac{1}{2} \Delta Q_U c^2 = \frac{1}{2} 3.6 \cdot 10^{56} 2 \cdot 10^{30} (3 \cdot 10^8)^2 = 3.2 \cdot 10^{103} J / \text{anno}$$

dalla quale possiamo calcolare l’energia cinetica sviluppata con il collasso di un nucleo:

$$T_N = \frac{\Delta T_U}{\Delta n_N} = \frac{3.2 \cdot 10^{103}}{125} = 2.6 \cdot 10^{101} J$$

la quale, come vedremo, ci consente di risalire alla velocità della luce raggiunta al momento dell’uscita del nucleo dall’Universo.

3 Le dimensioni del nucleo

Dall’analisi del redshift delle onde gravitazionali registrate in questi anni ⁹, la distanza media T_0 effettiva tra le punte delle “forchette” è risultata di *1.2 giorni*. Se assumiamo un tempo di collasso del nucleo pari a circa la metà di T_0 e se la velocità della luce con la quale avviene il collasso avesse il valore che noi conosciamo ($c_\infty = 300,000 \text{ km/s}$), il raggio del nucleo risulterebbe:

$$(R_N)_\infty = \frac{1.2}{2} 86,400 \cdot 300,000 \approx 15 \cdot 10^9 \text{ km} (\approx 100 \text{ AU})$$

⁸Si fa presente che:

$$\delta c^3 = \delta_\infty c_\infty^3 = \text{costante} = 8.1 \cdot 10^{42} \text{ kg/s}^3 (\equiv W/m^2)$$

dove, la densità δ_∞ dello spazio “a riposo” risulta pari a $3 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3$ e $c_\infty = 300,000 \text{ km/s}$. Questo valore di densità si ricava con molta precisione a partite dalla massa m_p del protone e dal volume V_e dell’elettrone:

$$\delta_\infty = \frac{8}{7} \frac{m_p}{V_e}$$

dove, $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg/m}^3$ e $V_e = 6.24 \cdot 10^{-45} \text{ m}^3$.

⁹Si veda la Parte 7 di **Un Rivelatore di Onde Gravitazionali: Redshift**.

ossia, pari a circa 100 volte la distanza Sole-Terra. Sappiamo, però, che a causa dell'intenso campo gravitazionale posseduto da questi oggetti, la velocità locale della luce risulta molto bassa per cui le sue dimensioni effettive risultano inferiori. Se indichiamo con c_N la velocità effettiva della luce sulla sua superficie, un osservatore posto fuori dal campo gravitazionale “vede” il nucleo con un raggio di:

$$(R_N)_\infty = R_N \frac{c_\infty}{c_N} \quad (5)$$

Per conoscere R_N dobbiamo, dunque, sapere quanto vale c_N . Utilizzando la (5) e considerando che nel nucleo la materia risulta trascurabile rispetto allo spazio, si ricava la quantità di spazio che costituisce il nucleo ¹⁰:

$$\delta_N V_N = \delta_N (V_N)_\infty \frac{c_N^3}{c_\infty^3} = \delta_\infty (V_N)_\infty = \text{costante} \quad (6)$$

pertanto, in virtù del fatto che $\delta c^3 = \text{costante}$, si riceva:

$$\delta_N V_N = 3 \cdot 10^{17} \frac{4}{3} \pi (15 \cdot 10^{12})^3 = 4.8 \cdot 10^{57} \text{ kg} (\approx 2.4 \cdot 10^{27} M_\odot)$$

e, quindi, per il raggio del nucleo si ottiene:

$$R_N = (R_N)_\infty \sqrt[3]{\frac{\delta_N V_N}{Q_N}} \approx 15 \cdot 10^9 \sqrt[3]{\frac{2.4 \cdot 10^{27}}{2.9 \cdot 10^{54}}} \approx 15 \text{ km}$$

mentre la velocità della luce e la densità dello spazio sulla superficie del nucleo si ha:

$$c_N = c_\infty \frac{R_N}{R_\infty} = 3 \cdot 10^8 \frac{15}{15 \cdot 10^9} \approx 0.3 \text{ m/s}$$

ossia, un milionesimo di volte inferiore al valore a noi noto! La corrispondente densità dello spazio che “esce” con il nucleo risulta:

$$\delta_N = \delta_\infty \left(\frac{c_\infty}{c_N} \right)^3 \approx 3 \cdot 10^{44} \text{ kg/m}^3$$

per cui, la pressione gravitazionale critica di collasso del nucleo vale:

$$p_{crit} \approx 3 \delta_\infty c_\infty^3 \frac{1}{c_N} = 3 \cdot 8.1 \cdot 10^{42} \frac{1}{0.3} \approx 8.1 \cdot 10^{43} \text{ N/m}^2$$

Quale è il valore di c_{exit} che viene raggiunto al momento dell'uscita del nucleo dall'Universo? Abbiamo poc'anzi calcolato l'energia cinetica sviluppata durante il collasso la quale è risultata essere pari a $T_N = 2.6 \cdot 10^{101} \text{ J}$. Dall'uguaglianza:

$$\frac{3}{10} Q_N c_{exit}^2 = T_N \quad (7)$$

dove il fattore 3/10 della distribuzione (lineare) delle velocità all'interno del nucleo (v. **Appendice 2**). Sostituendo i valori numerici si ottiene:

$$c_{exit} = \sqrt{\frac{10 \cdot 2.6 \cdot 10^{101}}{3 \cdot 2.4 \cdot 10^{27} \cdot 2 \cdot 10^{30}}} = 1.3 \cdot 10^{22} \text{ m/s}$$

valore, questo, che rappresenta anche l'ampiezza della “forchetta” che si ha in prossimità del luogo dove avviene il collasso.

¹⁰Si tenga presente che costituisce un nucleo è dell'ordine di $10^9 M_\odot$.

4 Radiazione cosmica di fondo a microonde (CMB)

Come è ben noto, la materia che costituisce l'Universo (stelle, pianeti, polvere, nubi, etc...) durante la caduta libera sui nuclei dei QNM acquista energia cinetica che con l'impatto sulla superficie viene trasformata in energia elettromagnetica ¹¹. Dunque, associato a questo continuo flusso di materia che cade sulla superficie dei nuclei dei QNM, si ha un *equivalente* flusso di energia elettromagnetica che viene generata e dispersa nello spazio circostante. Questa energia, insieme a quella prodotta dalle reazioni di fusione nucleare che avvengono nelle stelle, costituisce tutta la radiazione Cosmica di Fondo a Microonde (CMB). *Il flusso di energia elettromagnetica, combinato con l'effetto di espansione conduce, nel tempo, ad un equilibrio su grande scala della densità della CMB presente nell'Universo.*

È importante sottolineare che *il contributo dovuto alle reazioni di fusione nucleare risulta del tutto trascurabile*. Infatti, in questo caso, si tratta di processi che avvengono con variazioni della velocità della luce molto basse. Nel caso del Sole, ad esempio, la frazione di questa energia risulta ¹²:

$$\frac{c_\infty^2 - c_\odot^2}{c_\infty^2 - c_N^2} \approx \frac{2 \Delta c_\odot}{c_\infty} = \frac{2 \cdot 213}{3 \cdot 10^8} \approx 1.4 \cdot 10^{-6}$$

4.1 Caduta della materia sui nuclei dei QNM

La caduta libera di un oggetto (e.g. una stella) su un corpo celeste supermassiccio quale è il nucleo di un QNM è un processo che non può essere affrontato con gli attuali mezzi a disposizione della Fisica (*Teoria della Relatività*) in quanto durante la caduta del corpo varia (diminuisce) progressivamente la velocità (locale) della luce. In questo caso, poiché “*c*” *risulta variabile* non può essere utilizzata la relazione di equivalenza $\Delta E = \Delta M c^2$ ed, inoltre, la materia che cade sui nuclei non “scompare” trasformandosi in energia come vorrebbe questa relazione ma pur perdendo tutta o quasi l'energia elettromagnetica (si tenga presente che sulla superficie di un nucleo prossimo al collasso *c* è inferiore al m/s) la materia *mantiene inalterata la massa (“propria”)*!

L'energia cinetica *T* acquistata dal corpo durante la caduta può essere scritta nel modo seguente:

$$T = \frac{1}{2} M u^2 = \frac{1}{2} M F_v^2 v^2 \tag{8}$$

dove, *M* è la massa “propria” della stella (la quale non varia con la velocità), *u* la velocità di caduta percepita dall'osservatore solidale con essa e *c* la velocità locale della luce e *d* *F_v* il fattore di velocità. L'esistenza di uno spazio “fisico” ci induce ad utilizzare per il

¹¹Durante l'impatto con la superficie del nucleo viene emessa anche un'onda gravitazionale di pari energia la quale corrisponde alla *massa inerziale* che l'oggetto aveva accumulato durante la caduta.

¹²Si veda l'Appendice A.1 in **Gravità: Il ruolo fondamentale della velocità della luce.**

“fattore di velocità” l’espressione “classica” ¹³:

$$F_v = \frac{c}{c - v} \quad (9)$$

Sulla superficie del nucleo F_v può essere stimato nel modo seguente:

$$F_v = \frac{c_N}{c_N - v_N} \approx \frac{c_\infty}{c_N} \approx \frac{3 \cdot 10^8}{0.3} \approx 10^9$$

per cui, l’energia cinetica che il corpo possiede al momento dell’impatto con la superficie del nucleo e che viene trasformata in energia elettromagnetica risulta:

$$T = \frac{1}{2} 2 \cdot 10^{30} \cdot 0.3^2 (1.2 \cdot 10^9)^2 \approx 10^{47} \text{ J}$$

Ma è stato visto che *nell’uscire dal campo gravitazionale del nucleo un’onda elettromagnetica aumenta la sua ampiezza (e la sua lunghezza d’onda) in modo direttamente proporzionale alla velocità della luce* per cui la sua energia aumenta quadraticamente con c . Quindi, l’energia elettromagnetica effettiva che va a costituire la CMB risulta:

$$T_\infty = T \frac{c_\infty^2}{c_N^2} = 10^{47} \frac{(3 \cdot 10^8)^2}{0.3^2} = 10^{65} \text{ J} \quad (10)$$

Per ogni kg di materia che cade, l’energia elettromagnetica prodotta risulta ¹⁴:

$$\frac{1}{2} \frac{c_\infty^4}{c_N^2} = \frac{1}{2} \frac{(3 \cdot 10^8)^4}{0.3^2} \approx 5 \cdot 10^{34} \text{ J/kg}$$

per cui, nel caso di un protone che impatta sulla superficie del nucleo la radiazione elettromagnetica emessa diventa:

$$\frac{5 \cdot 10^{34} \cdot 1.67 \cdot 10^{-27}}{1.6 \cdot 10^{-19}} \approx 5 \cdot 10^{26} \text{ eV}$$

Come si vede, in questo modo è possibile spiegare anche le elevatissime energie possedute da taluni *raggi cosmici* e per i quali la Fisica oggi non riesce a fornire alcuna spiegazione. Poichè il calcolo appena effettuato si riferisce ad un nucleo prossimo al collasso, tale valore è da intendersi come *limite superiore di energia* dei raggi gamma emessi. Stelle o altri corpi celesti che cadono su nuclei in fase di crescita sviluppano, di conseguenza, energie inferiori.

¹³Si tenga presente che l’espressione “relativistica”:

$$F_v = \sqrt{\frac{c^2}{c^2 - v^2}}$$

e quella “classica” tendono a coincidere soltanto alle basse velocità ($v/c \leq 0.5$). Alle alte velocità il fattore di velocità “classico” risulta maggiore di quello relativistico.

¹⁴Come si vede, l’energia sviluppata è direttamente proporzionale alla quarta potenza dei c . Ciò è dovuto all’effetto del denominatore della (9) che diventa molto più piccolo non solo per l’aumento di v ma, soprattutto, perché si riduce c !

4.2 Calcolo dell'energia della radiazione CMB

Lo spettro della radiazione CMB è molto bene approssimato da quello di un *corpo nero*, per cui, la densità di energia può essere calcolata con la ben nota formula di Stefan-Boltzmann ¹⁵:

$$u(T) = a T^4$$

dove la costante a ha il valore seguente:

$$a = 7.57 \cdot 10^{-16} \text{ J m}^{-3} \text{ } ^\circ\text{K}^{-4}$$

Poichè la temperatura di questa radiazione è pari a $2.73 \text{ } ^\circ\text{K}$, l'energia elettromagnetica totale contenuta nella porzione visibile dell'Universo vale:

$$a T^4 V_U = 7.57 \cdot 10^{-16} \cdot 2.73^4 \frac{4 \pi}{3} (1.42 \cdot 10^{26})^3 = 5 \cdot 10^{65} \text{ J}$$

Al suddetto valore occorre apportare la correzione dovuta al redshift, il cui effetto è quello di *aumentarne, in media, di 4 volte la lunghezza d'onda* (v. **Appendice A.1**). Dalla *legge dello spostamento di Wien* ($\lambda T = \text{costante}$), sappiamo che la lunghezza d'onda λ è inversamente proporzionale alla temperatura T per cui il valore corretto di questa energia risulta:

$$E_{CMB} = 5 \cdot 10^{65} \cdot 4^4 = 1.3 \cdot 10^{68} \text{ J } (\equiv 7.2 \cdot 10^{20} M_\odot)$$

5 La nascita di “nuova” materia

In un Universo in continua espansione, dove la “vecchia” materia viene eliminata attraverso il meccanismo dei collassi cosmici, la nascita di “nuova” materia diventa un elemento essenziale per il suo funzionamento. Questa materia che nasce in continuazione sotto forma di *nubi di idrogeno neutro* è testimoniata dalla presenza dei numerosi “notches” sovrapposti alle onde di elevata intensità registrate dal nostro rivelatore ¹⁶. Nella **Figura 6** sono riportati alcuni notches più significativi registrati in questi ultimi anni (2004-2005). Si riportano, qui di seguito, alcune caratteristiche di questo fenomeno:

1. l'ampiezza dei “notches” è alcuni mVolt e rimane costante per tutta la durata del fenomeno;
2. la durata dei “notches” varia da alcuni minuti fino ad alcune decine di ore;
3. i “notches” presentano il fenomeno del redshift: ad ampiezze inferiori corrispondono fronti di discesa (e risalita) del segnale meno ripidi;

¹⁵La ragione per cui la radiazione CMB è assimilabile molto bene a quella emessa da un corpo nero è dovuta alla presenza del redshift prodotto dalla espansione dell'Universo, il quale ne aumenta la lunghezza d'onda di un fattore pari a $c/(c-v)$. Si veda su questo punto quanto riportato nell'Appendice 33 del libro **Fisica Atomica** di *Max Born*.

¹⁶Si veda anche la Parte 5 di **Un rivelatore di Onde Gravitazionali: Nascita e Morte della Materia**.

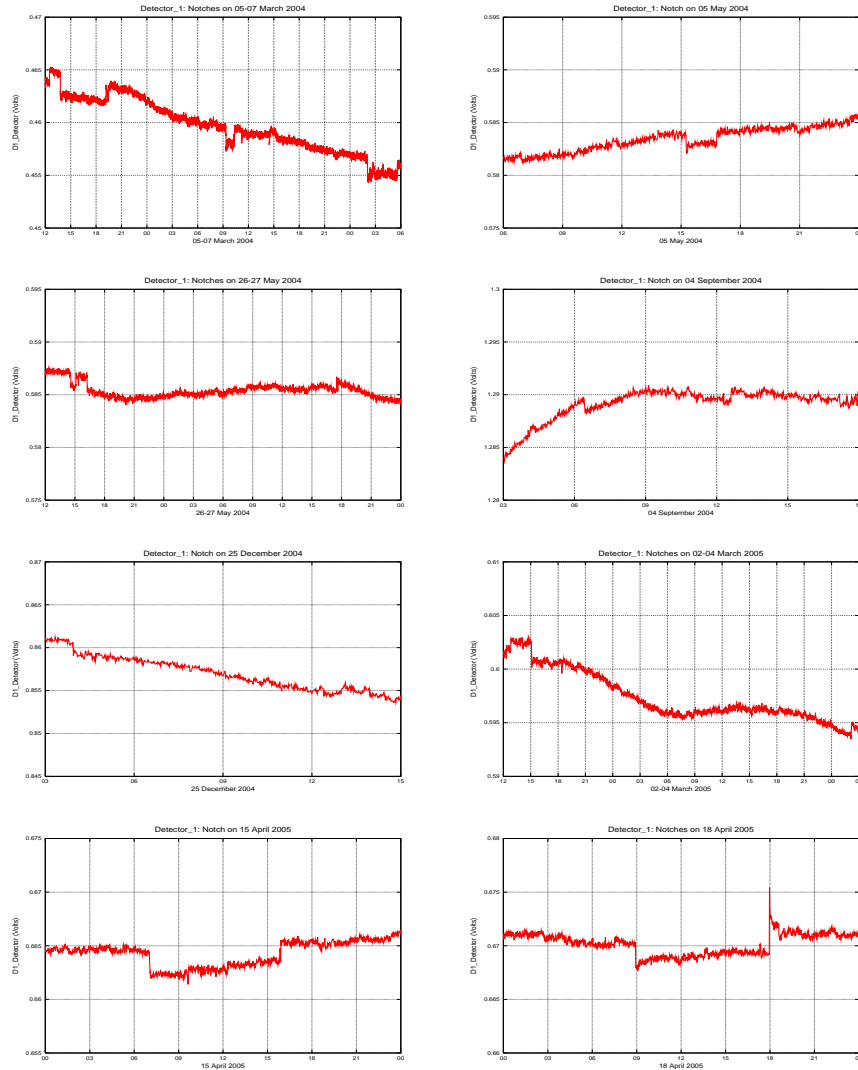


Figura 6: Esempari di “notches” registrati di recente (2004-2005).

4. l'ampiezza relativamente elevata dei “notches” ci induce a ritenere che insieme alla materia è “avvolta” dallo spazio (indispensabile affinché possa nascere idrogeno neutro!);
5. la discesa del “notch” corrisponde al momento in cui la pressione (elettromagnetica) della materia, che si trova “sepolta” nello spazio dove la vediamo nascere, riesce a prevalere sulla pressione gravitazionale esercitata dallo spazio, mentre la risalita corrisponde alla “ri-chiusura” dello spazio una volta che il fenomeno si è esaurito;
6. l'abbassamento del segnale, corrispondente ad una diminuzione locale della velocità della luce, è prodotto dalla espansione della materia (e spazio) che entra nell'Universo, mentre l'ampiezza costante sta a indicare che la quantità entrante nell'unità di tempo è costante;
7. il fenomeno è stimolato dalle onde gravitazionali di elevata intensità prodotte dal

collasso dei nuclei dei QNM e cui il passaggio di queste onde si lascia dietro di sé una scia di “bolle” di idrogeno neutro che espandendosi producono i “notches” osservati;

8. i “notches” si osservano sovrapposti ai fronti di discesa delle “forchette” a dimostrazione che gli ingressi avvengono in prossimità dei QNM dove l’intensità dell’onda e, quindi, la depressione (gravitazionale) prodotta localmente risulta maggiore.

Le nubi di idrogeno più grandi, col passare del tempo, formeranno le giovani galassie, mentre quelle più piccole evolveranno in giovani ammassi stellari che a loro volta verranno attratti dalle galassie più grandi. Le prime osservazioni sulla presenza di queste nubi risalgono alla fine degli anni ’70. Negli anni ’80 vennero scoperte le *galassie a bassa intensità superficiale* (*Low-Surface Brightness galaxies o LSB*) che rappresentano le prime fasi di formazione. Solo ad iniziare dagli anni ’90, con la costruzione dei radiotelescopi sintonizzati sulla lunghezza d’onda di 21 cm dell’idrogeno, è stato possibile iniziare le prime osservazioni sistematiche su questi nuovi oggetti celesti ¹⁷.

Se pensiamo, ad esempio, un “notch” con un redshift $z = 1$ (ossia, prodotto ad una distanza $r_0 = R_U z/(z+1) = R_U/2$) e di ampiezza pari a 2 mVolt . Poichè la costante del rivelatore è di circa $30 \text{ km/s per mVolt}$, la variazione della velocità della luce, corretta per il redshift, risulta pari a:

$$\Delta c = 2 (z + 1) 30 = 120 \text{ km/s}$$

alla quale corrisponde una variazione di densità dello spazio di:

$$\Delta \delta \approx 3 \delta_\infty \frac{\Delta c}{c_\infty} = 3 \cdot 3 \cdot 10^{17} \frac{120}{300,000} \approx 3.6 \cdot 10^{14} \text{ kg/m}^3$$

Se il “notch” ha la durata di un’ora, la quantità di materia e spazio ad esso associata risulta:

$$\frac{4 \pi r_0^2 c \Delta \delta \cdot 3,600}{M_\odot} = \frac{4 \pi (1.42 \cdot 10^{26}/2)^2 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 3.6 \cdot 10^{14} \cdot 3,600}{2 \cdot 10^{30}} = 1.2 \cdot 10^{49} M_\odot$$

Ad oggi, da quanto si è potuto osservare, le *ore/anno equivalenti di “notches”* potrebbero essere comprese tra qualche decina e qualche centinaio. In tal caso la quantità di materia e spazio entrante nell’Universo risulterebbe pari a circa $10^{50} \div 10^{51} M_\odot/\text{anno}$ ¹⁸.

Infine, se facciamo un primo confronto con la quantità di spazio necessaria per l’espansione ($3.6 \cdot 10^{56} M_\odot/\text{anno}$), si vede che questo contributo risulta trascurabile. Per l’espansione dell’Universo occorre, pertanto, pensare a meccanismi differenti.

¹⁷Si veda a questo riguardo l’articolo “*The Ghostliest Galaxies*” di Gregory D. Bothum.

¹⁸Si tenga presente che anche qui il numero di ore/anno equivalenti deve essere diviso per:

- 4, per tenere conto dell’effetto prodotto dal redshift
- la frazione di Universo visibile che il rivelatore è in grado di osservare

6 Bilancio di materia dell'Universo

Il bilancio della materia che viene qui di seguito proposto e relativo alla parte visibile dell'Universo, utilizza un *modello a 3 gruppi di materia*. Il primo gruppo è rappresentato dalla materia “elusiva” (M_X) la quale è costituita dall'idrogeno neutro presente sotto forma di nubi e nelle *galassie a bassa intensità superficiale*. Il secondo gruppo è rappresentato dalla materia “luminosa” (M_Y) coinvolta nei processi di fusione nucleare che avvengono nelle stelle; si tratta in buona parte di materia che è presente nelle galassie, ammassi stellari, ammassi globulari, etc..., e che può essere ulteriormente suddivisa in Idrogeno (H), Elio (He) e i cosiddetti “Metalli” (pianeti, polvere, etc...). Il terzo gruppo è rappresentato dalla materia “collassata” (M_Z) che si trova all'interno degli enormi campi gravitazionali dei quasar; come è stato già detto, si tratta di materia “morta”, ossia priva o quasi di energia elettromagnetica a causa della bassissima velocità della luce nel luogo in cui si trova.

La **Figura 7** riporta in forma schematica il modello utilizzato per questo bilancio. In *condizioni stazionarie*, tra i suddetti tre gruppi di materia si possono scrivere le seguenti relazioni (con riferimento ad un intervallo di tempo $\Delta t = 1$ anno):

$$\Delta M_X = K_{MNQ} M_Z M_X + \frac{M_X}{\tau_Y} + \frac{M_X}{\tau_U} \quad (11)$$

$$\frac{M_X}{\tau_Y} = K_{MNQ} M_Z M_Y + \frac{M_Y}{\tau_U} \quad (12)$$

$$K_{NMQ} M_Z M_X + K_{MNQ} M_Z M_Y = \Delta M_Z + \frac{M_Z}{\tau_U} \quad (13)$$

dove, τ_Y rappresenta il tempo di formazione delle galassie a partire dalle nubi di idrogeno neutro mentre ΔM_X e ΔM_Z sono, rispettivamente, il flusso di materia che “entra” e quello “esce” dall'Universo in un anno. È importante tenere presente che M_Z rappresenta la massa “propria” e non quella gravitazionale dei QNM, il cui effetto è presente nella “costante di cattura” K_{MNQ} . L'uso dello stesso valore di K sia per M_X che per M_Y è giustificato dal fatto che *l'idrogeno neutro sembra nascere, di preferenza, nelle vicinanze dei QNM*.

6.1 La materia “collassata”

Per quanto è stato detto in precedenza, tutta la materia presente nell'Universo finirà, prima o poi, per cadere sui nuclei dei QNM. Ne risulta, pertanto, che *il flusso della radiazione CMB che si disperde per effetto dell'espansione “equivale” a questo flusso continuo di materia*. Più precisamente:

$$\frac{M_{CMB}}{\tau_U} = K_{NMQ} M_Z M_X + K_{MNQ} M_Z M_Y \quad (14)$$

la quale utilizzata nella (13) consente di ottenere:

$$\frac{M_{CMB}}{\tau_U} = \Delta M_Z + \frac{M_Z}{\tau_U} \quad (15)$$

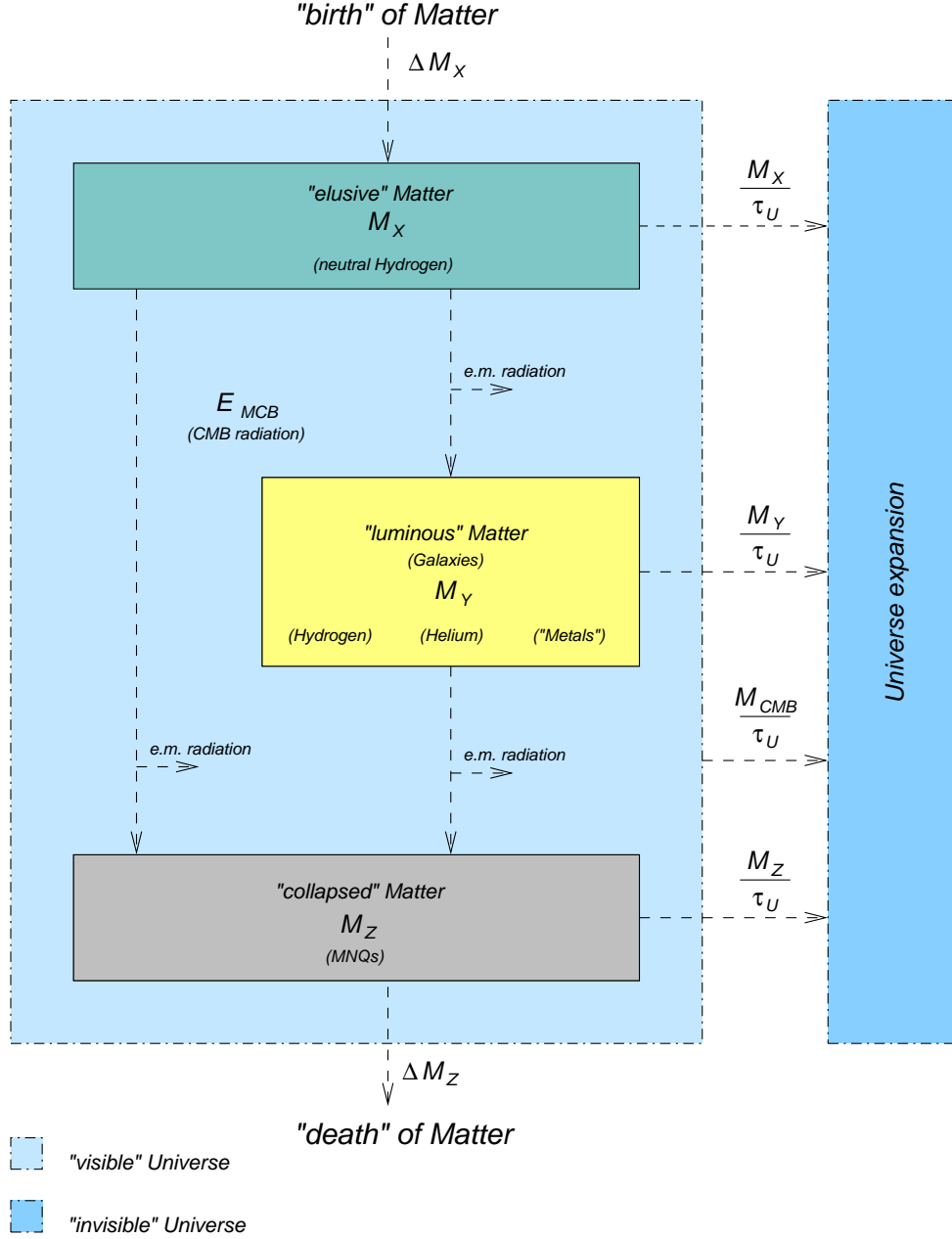


Figura 7: Modello di riferimento dell'Universo

Considerando che la popolazione dei QNM nell'Universo non può essere elevata ($M_Z \ll M_{CMB}$) altrimenti questi attirerebbero in breve tempo tutta la materia presente, possiamo trascurare il flusso di questi che viene disperso per effetto dell'espansione, ottenendo così il flusso di materia che collassa ed "esce" in un anno:

$$\Delta M_Z \approx \frac{M_{CMB}}{\tau_U} = \frac{7.2 \cdot 10^{20}}{5 \cdot 10^9} \approx 144 \cdot 10^9 M_{\odot}/\text{anno} \quad (16)$$

Se dividiamo tale valore per il numero Δn_N di nuclei che, in media, collassa in un anno possiamo ottenere una stima per la massa “propria” di un nucleo prossimo al collasso:

$$M_N = \frac{\Delta M_Z}{\Delta n_N} \approx \frac{144 \cdot 10^9}{125} \approx 1.2 \cdot 10^9 M_\odot \quad (17)$$

Quanti QNM ci sono nell’Universo visibile? Se, come oggi si ritiene, dal centro di un ammasso di galassie viene un’energia sotto forma di radiazione elettromagnetica circa 10,000 volte più elevata di quella emessa da una galassia come la nostra, il “consumo” di materia di un QNM dovrebbe risultare pari a:

$$10,000 \cdot 100 \cdot 10^9 \cdot 3.86 \cdot 10^{26} \cdot 86,400 \cdot 365 \approx 1.2 \cdot 10^{49} J/anno (= 68 M_\odot/anno)$$

dove si è fatto riferimento ad una galassia costituita da circa 100 miliardi di stelle, mentre $3.86 \cdot 10^{26} J/s$ è l’energia emessa da una stella come il Sole. Se confrontiamo questo il valore così ottenuto con il flusso di materia che collassa in un anno, risulterebbe presente nell’Universo visibile all’incirca *qualche miliardo di QNM* (e.g. ammassi di galassie). È bene tenere presente che si tratta di una *stima sicuramente in eccesso* in quanto non è stata considerata tutta l’energia che viene emessa dai QNM (getti superluminali, etc...).

6.2 La materia “luminosa”

L’elevato rapporto tra l’Idrogeno (H) e l’Elio (He) nell’Universo ci indica che *la vita media della materia “luminosa” è sensibilmente inferiore al tempo (medio) che l’idrogeno impiega a “bruciare” attraverso i processi di fusione nucleare che hanno luogo nelle stelle.* Questo rapporto, oggi, è stimato essere pari a:

$$Y = \frac{M_{He}}{M_Y} \approx 0.25 \quad (18)$$

Possiamo, in questo caso, trascurare i cosiddetti “Metalli” e scrivere:

$$M_Y \approx M_H + M_{He} = \frac{1}{1-Y} M_H \quad (19)$$

e, quindi:

$$M_H \approx \frac{1-Y}{Y} M_{He} \approx 3 M_{He} \quad (20)$$

Se indichiamo con τ_F il tempo caratteristico del processo di conversione dell’Idrogeno in Elio che avviene nelle stelle, può essere scritta per l’Elio la seguente relazione:

$$\frac{M_{He}}{\tau_U} + K_{MNQ} M_Z M_{He} = \frac{M_H}{\tau_F} \approx 3 \frac{M_{He}}{\tau_F} \quad (21)$$

la quale utilizzando la (20) permette di ottenere:

$$K_{MNQ} M_Z = \frac{3}{\tau_F} - \frac{1}{\tau_U} \quad (22)$$

Combinando tra loro la (12) e (13) e utilizzando (22) è possibile ottenere la quantità di materia “luminosa” presente nell’Universo:

$$M_Y = \frac{M_{CMB}}{\left(3 \frac{\tau_U}{\tau_F} - 1\right) \left(3 \frac{\tau_Y}{\tau_F} + 1\right)} \quad (23)$$

Se consideriamo un $\tau_F \approx 5 \cdot 10^9$ anni e un $\tau_Y \approx 15 \cdot 10^9$ anni si ottiene:

$$M_Y \approx \frac{7.2 \cdot 10^{20}}{20} = 3.6 \cdot 10^{19} M_\odot$$

e, inoltre:

$$K_{MNQ} M_Z = \frac{3}{5} - \frac{1}{5} = \frac{1}{2.5 \text{ miliardi di anni}}$$

Nonostante oggi ci siano ancora molte incertezze sia sui processi di combustione nucleare che avvengono nelle stelle che sulla formazione delle galassie un fatto molto importante emerge dalle precedenti considerazioni: *la materia “luminosa” presente nell’Universo non è molta*, soprattutto se viene comparata con i valori oggi in circolazione ¹⁹.

6.3 La materia “elusiva”

Se si sostituisce la (22) nella (12), per la materia “elusiva” presente nell’Universo si ottiene:

$$M_X = 3 \frac{\tau_Y}{\tau_F} M_Y \approx 3 \frac{15}{5} 3.6 \cdot 10^{19} = 3.2 \cdot 10^{20} M_\odot \quad (24)$$

ossia, (almeno) un ordine di grandezza maggiore di quella “luminosa”. La (24), inoltre, ci indica che *la quantità di materia “elusiva” è tanto più elevata quanto maggiore è il tempo di formazione τ_Y delle galassie dalle nubi di idrogeno neutro.*

Infine, dalla (11) possiamo ricavare la quantità di idrogeno neutro che deve nascere in un anno per compensare le “perdite” di materia dell’Universo. Si ha:

$$\Delta M_X = 10^{-9} \left(\frac{1}{2.5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5} \right) 3.2 \cdot 10^{20} \approx 250 \cdot 10^9 M_\odot/\text{anno}$$

Ad esempio, in un tempo pari a:

$$t_{2U} = \tau_U \ln 2 = 15 \cdot 0.693 \approx 10 \text{ miliardi di anni}$$

sappiamo che l’Universo raddoppia di raggio per cui il volume V_U diventa 8 volte più grande. Esso risulterà costituito per 7/8 di “nuova” materia nata nel frattempo, mentre solo il rimanente 1/8 sarà ancora occupato dalla “vecchia” materia.

7 L’(auto)regolazione dell’Universo

Come fa l’Universo a funzionare in modo stabile? Ossia, come viene evitato che i QNM presenti finiscano con l’attirarsi l’uno con l’altro fino a formare enormi e pericolose concentrazioni di materia? Vedremo, qui, come *l’espansione dell’Universo abbia un ruolo molto importante per la sua stabilità.*

¹⁹Con il modello cosmologico del Big-Bang, la materia presente nell’Universo viene calcolata sulla base di considerazioni gravitazionali fatte su grande scala:

$$M_Y = \frac{3 H_0^2}{8 \pi G} V_U = \frac{3 \cdot 15 \cdot 10^9 \cdot 31.5 \cdot 10^{62}}{8 \pi \cdot 6.67 \cdot 10^{-11}} \frac{4 \pi}{3} (1.42 \cdot 10^{26})^3 = 9.6 \cdot 10^{52} \text{ kg} (= 4.8 \cdot 10^{22} M_\odot)$$

in quanto non viene fatta alcuna distinzione tra materia (ossia, lamassa “propria”) e la massa gravitazionale.

Ad oggi, il collasso cosmico sembra essere l'unico evento che regola sia la "morte" che la "nascita" della materia. Con il collasso, infatti, viene espulsa la vecchia materia e nello stesso tempo viene stimolata la produzione di idrogeno neutro con la formazione, quindi, di nuove galassie. Il collasso di un nucleo, oltre ad indebolire il campo gravitazionale del QNM per la presenza di un nucleo in meno, "rilascia" anche lo spazio addensato che questo aveva intorno facendo allontanare le galassie dell'ammasso rallentandone, quindi, il "metabolismo". I collassi a catena che si hanno con il collasso generale, producono un effetto di espansione locale molto forte che fa disperdere i nuclei rimasti e le galassie superstiti. I nuclei rimarranno isolati e dovranno attendere molto tempo affinché dalle nubi di idrogeno neutro nel frattempo prodotte possano formarsi nuove galassie e riattivare il ciclo dei collassi.

Un QNM con molta materia a disposizione ha, di conseguenza, anche un ritmo di collassi più frenetico, espellendo dall'Universo molti più nuclei, mentre un QNM con poca materia intorno ha un ritmo più lento in quanto deve attendere la formazione di nuove galassie. Con molti collassi sarà elevato anche il ritmo di espansione per cui la parte visibile dell'Universo risulterà più piccola e più dinamica, consumando anche più energia. Viceversa, con pochi collassi si avrà un Universo più grande, meno dinamico e che consumerà anche meno energia.

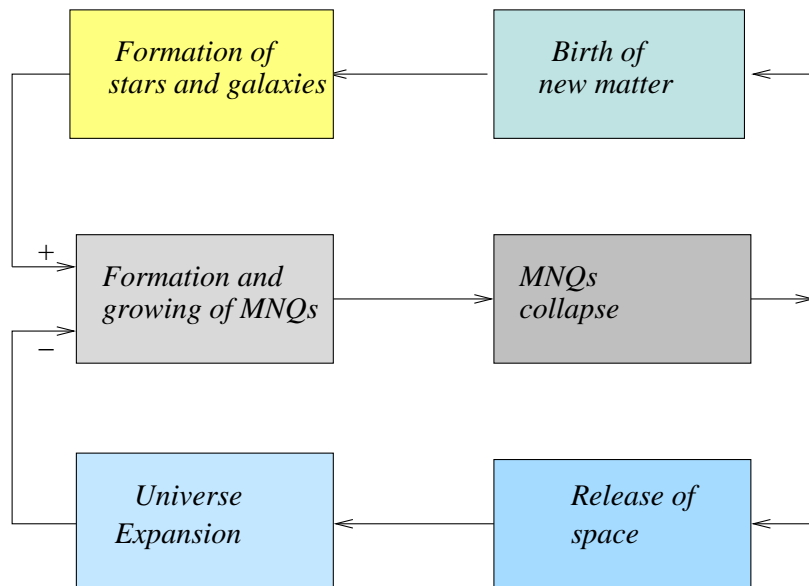


Figura 8: L'(auto)regolazione dell'Universo

Nella **Figura 8** è riportato, in forma schematica, il meccanismo di (auto)regolazione dell'Universo. Si tratterebbe, in sostanza, di un tipico fenomeno di azione:

più collassi > più nascita di materia

e reazione:

più collassi > più espansione

Questi due effetti tra loro contrastanti, tenderanno a stabilizzare, su tempi lunghi, la quantità di materia presente nell'Universo mentre localmente, in un'area pari al raggio di azione di un QNM, si avranno cicli interi di collassi seguiti da lunghi periodi di stasi.

8 Osservazioni

Sul modello dell'Universo proposto nei paragrafi precedenti si vuole evidenziare quanto segue.

1. La formula di Stefan-Boltzmann utilizzata per il calcolo dell'energia della CMB non prende in considerazione la maggiore energia elettromagnetica presente alle lunghezze d'onda più piccole, come è stato rilevato di recente dal WMAP. Il valore così calcolato risulterebbe, quindi, in difetto.
2. Nel bilancio della radiazione CMB non è stato considerato il riscaldamento prodotto dalla interazione delle onde gravitazionali con la materia. Come è stato già fatto rilevare le onde gravitazionali che si propagano nell'Universo interagiscono con i corpi celesti che posseggono un campo magnetico riscaldandoli anche in modo significativo, come avviene per Sole e altri pianeti del Sistema Solare.
3. La quantità di materia "luminosa" presente nell'Universo dipende in modo sensibile dal tempo caratteristico di conversione dell'Idrogeno in Elio nei processi di fusione nucleare che avvengono nelle stelle. In pratica, questo parametro deve essere calcolato come media (ponderale) tra quello piuttosto lungo (dell'ordine di alcuni miliardi di anni) relativo alle stelle stabili come il Sole e quello, molto più breve (dell'ordine di alcune decine di milioni di anni) relativo alle stelle instabili come le giganti blu. Il valore di 5 miliardi di anni da noi utilizzato per i calcoli potrebbe essere eccessivo e, di conseguenza, la materia "luminosa" risultare inferiore.
4. Il tempo di conversione dell'Idrogeno in Elio non deve essere confuso con la vita media delle stelle, la quale dipende anche dalle quantità di idrogeno interstellare che queste sono in grado di catturare durante la loro esistenza. Inoltre, il riscaldamento delle stelle prodotto dalle onde gravitazionali, oltre a favorire i processi di fusione nucleare tende anche a prolungarne la loro esistenza.
5. Nonostante le incertezze ancora presenti nei calcoli, la quantità di materia "luminosa" presente nell'Universo è molto inferiore (almeno 1,000 volte) rispetto ai valori oggi in circolazione, basati su considerazioni essenzialmente gravitazionali, dettate dalla Teoria della Relatività, senza sapere nulla circa la natura e l'entità della materia oscura.
6. Le stime, ancora preliminari, sulla quantità di idrogeno neutro presente nell'Universo conducono a valori che sono (almeno) un'ordine di grandezza più elevati della materia "luminosa". Il calcolo dipende in modo sensibile dal tempo di formazione delle galassie a partire dalle nubi di idrogeno neutro. Ad oggi, le osservazioni sulla presenza della materia "elusiva" conducono a valori dello stesso ordine di grandezza o poco superiori a quelli della materia "luminosa" con una tendenza ad aumentare.
7. Nei bilanci di materia effettuati è stata ritenuta non rilevante la presenza della materia "collassata" che costituisce i nuclei dei QNM. Si fa presente ancora una volta che si tratta della massa "propria" (ossia, della materia propriamente detta) e non della massa gravitazionale il cui valore è enormemente più elevato. Se la popolazione dei QNM presenti nell'Universo fosse davvero elevata, con il loro campo

gravitazionale porterebbero, in breve tempo, al collasso di tutta la materia presente dell'Universo! Per una stima più precisa del numero di QNM presenti nell'Universo, si dovrà attendere il completamento le "surveys" in corso oppure avere dati più precisi sulla anisotropia della radiazione CMB poiché ad ogni "macchia" calda sulla mappa corrisponde la presenza di un QNM.

8. Infine, non sono state ancora fatte molte considerazioni riguardanti il *bilancio di spazio* dell'Universo. È stata calcolata la quantità di spazio necessaria per la sua espansione e si è potuto verificare come l'espansione sia dovuta essenzialmente al "rilascio" del campo gravitazionale dei nuclei che collassano e che lo spazio associato ai "notches" non sia sufficiente a coprire tali necessità.

9 Conclusioni

Eravamo partiti con l'idea di migliorare il bilancio di materia per l'Universo visibile che avevamo fatto qualche tempo fa ma ora ci troviamo con molto di più. Abbiamo a disposizione un modello per l'Universo che, anche se ancora incerto dal punto di vista quantitativo è, invece, molto soddisfacente dal punto di vista qualitativo. L'idea di etichettare come "predatori" i QNM e come "prede" le galassie con l'idrogeno neutro a rappresentare una sorta di "cibo" a disposizione per quest'ultime ci sembra molto utile e stimolante. Possiamo dire che anche il funzionamento dell'Universo non sembra essere, poi, molto diverso da un qualsiasi ecosistema in equilibrio (dinamico)! Inoltre, rispetto a quanto ci viene oggi proposto con il Big-Bang, qui il "cammino" della materia è completamente rovesciato: i Quasar non sono più il primo ma bensì l'ultimo anello della "catena alimentare" dell'Universo.

Con i meccanismi descritti e le osservazioni astronomiche hanno iniziato a dimostrare, *l'Universo si mantiene sempre giovane*. Abbiamo visto che dopo un ciclo di 10 miliardi di anni rimane soltanto 1/8 della "vecchia" materia mentre i rimanenti 7/8 vengono occupati da "nuova" materia. Al ciclo successivo la "vecchia" materia si è ridotta a 1/64 e costituita essenzialmente dai QNM superstiti. È come se, dopo 10 miliardi di anni o giù di lì tutto dovesse ricominciare d'accapo!

Per chi è in cerca di Leggi Fondamentali dell'Universo, una di queste potrebbe essere la seguente: *chiunque nasce, in qualsiasi luogo e in qualsiasi epoca, troverà un Universo sempre "giovane"*.

A APPENDICE

A.1 Correzione dei conteggi per il redshift

Consideriamo il volume dV generico di una determinata regione dell'Universo visibile (v. **Figura 9**):

$$dV = 4 \pi r^2 dr \quad (25)$$

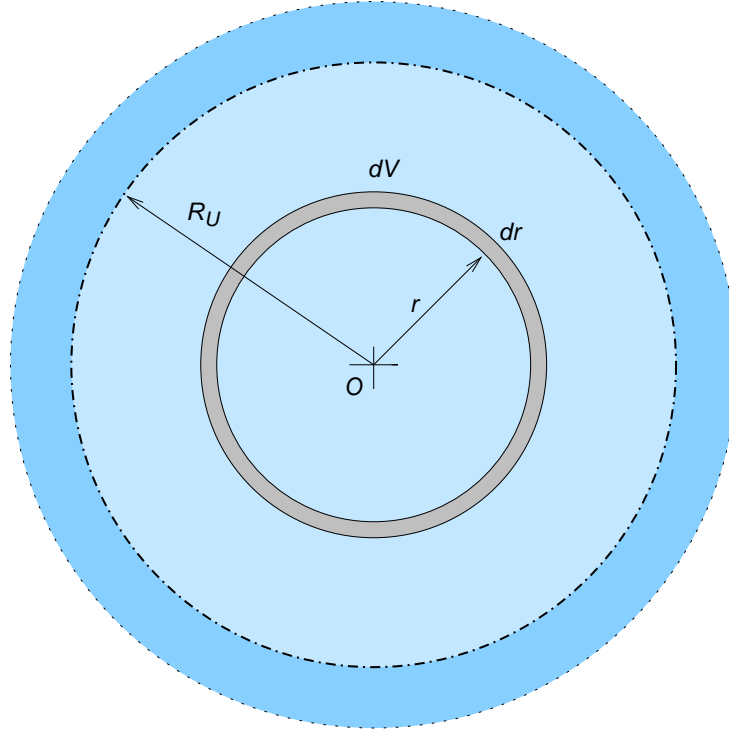


Figura 9:

Se introduciamo come variabile indipendente il redshift z al posto della distanza r :

$$r = R_U \frac{z}{z+1} \quad (26)$$

ossia, differenziando:

$$dr = R_U \frac{dz}{(z+1)^2} \quad (27)$$

e sostituendo nella (25):

$$dV = 4 \pi R_U^2 \frac{z^2}{(z+1)^4} = V_U \frac{3 z^2}{(z+1)^4} dz \quad (28)$$

Quale è il numero totale di emettitori visti da O? Se indichiamo con n il numero effettivo di emettitori (nuclei di QNM che collassano) per unità di volume. Il numero dN di emettitori contenuti nel volume dV è dato da:

$$dN = n dV \quad (29)$$

per cui, si ottiene:

$$N_O = \int_0^{R_U} n dV = n \frac{4 \pi}{3} R_U^3 \int_0^\infty \frac{3 z^2}{(z+1)^4} dz \equiv N \quad (30)$$

in quanto è facile verificare che:

$$\int_0^\infty \frac{3 z^2}{(z+1)^4} dz = 1 \quad (31)$$

Quale è il numero di conteggi nell'unità di tempo che possono essere rilevate da O? Poiché per l'elemento di volume considerato si ha:

$$d\dot{N}_O = \frac{dN_O}{dt_O} dV = \frac{dN}{dt} \frac{dt_O}{dt} dV = \dot{N} \frac{1}{z+1} dV \quad (32)$$

in quanto a causa del redshift la durata dell'evento percepita da O risulta maggiore. Integrando la suddetta espressione si ottiene:

$$\dot{N}_O = \dot{N} \int_0^\infty \frac{3 z^2 dz}{(z+1)^5} = \frac{1}{4} \dot{N} \quad (33)$$

pertanto, *la frequenza dei conteggi rilevata da O risulta 4 volte inferiore a quella effettiva.*

A.2 Energia cinetica del nucleo durante il collasso

Se consideriamo il volume generico del nucleo $dV = 4 \pi r^2 dr$, per l'energia cinetica possiamo scrivere:

$$dT_r = \frac{1}{2} dQ c_r^2 \quad (34)$$

dove,

$$c_r = c_R \frac{r}{R} \quad (35)$$

con R il raggio del nucleo e,

$$dQ = 4 \pi r^2 dr \frac{Q_N}{(4 \pi/3) R^3} \quad (36)$$

Sostituendo la (35) e la (36) nella (34) si ottiene:

$$T_N = \frac{3}{2} Q_N \int_0^R \frac{r^4}{R^5} dr = \frac{3}{10} Q_N c_R^2 \quad (37)$$