



## LA LEGGE DEI QUATTRO GUSCI DEL SISTEMA SOLARE E IL PRINCIPIO ANTROPICO (\*)

di Carlo Frison

*Il problema della proporzione tra il Sole e l'atomo è risolto introducendo il raggio che avrebbe una ipotetica stella di neutroni di massa pari a quella del Sole. Tale proporzione dipende da tutte le quattro forze fondamentali e fornisce due nuovi numeri cosmici, da definire dinamici, per distinguerli da quelli già noti, da definire statici. Anche i numeri cosmici dinamici appartengono al principio antropico.*

*Il sistema solare è suddivisibile in gusci di raggio crescente secondo una progressione geometrica di ragione uguale all'ordine di grandezza del raggio di una stella di neutroni:  $10^4$  m. Gli ordini di grandezza dei gusci sono:  $10^8$  m della superficie del Sole,  $10^{12}$  m dell'orbita complanare massima (fascia di Kuiper), e  $10^{16}$  m del limite esterno della nube di Oort.*

*La comparazione tra l'atomo di idrogeno e il Sole si avvale dell'uguale ordine di grandezza della velocità dell'elettrone dell'idrogeno e della velocità tangenziale di un elettrone sulla superficie del Sole.*

### **1 - Le dimensioni limiti dei sistemi di orbitazione planetari e atomici**

L'analogia tra il moto dei pianeti attorno al Sole e quello degli elettroni attorno al nucleo sembra la riproposizione dell'antica analogia tra macrocosmo e microcosmo. Nelle moderne concezioni scientifiche, i principi comuni del macrocosmo e del microcosmo sarebbero celati nei numeri cosmici. Benché le cause siano diverse – la gravitazione nel sistema solare e l'elettromagnetismo quantistico nell'atomo – c'è qualche apparente similitudine dal punto di vista geometrico. Infatti al centro c'è la massa maggiore, il Sole in un caso e il nucleo nell'altro, e attorno si muovono le piccole masse dei pianeti o degli elettroni. Ma la repulsione tra gli elettroni e il loro dualismo onda/corpuscolo creano la dislocazione degli elettroni negli orbitali, mentre le orbite attorno al Sole sono planari. Ciononostante, è possibile il confronto tra le dimensioni complessive dei due tipi di sistemi di orbitazioni, dando tale termine il significato di raggio dello spazio di tutti i moti, senza preoccuparsi della teoria quantomeccanica.

Il confronto tra le orbitazioni dei pianeti e quelle degli elettroni ha senso solo nell'ambito del principio antropico. Solo la stabilità di un sistema planetario lungo miliardi di anni, in cui l'evoluzione biologica ha il tempo necessario, può essere paragonabile alla stabilità degli atomi. La proporzione tra Il Sole e l'atomo, qui proposta, dipende da tutte le quattro forze fondamentali e perciò è una legge del principio antropico in base ai numeri cosmici che forma.

Iniziamo considerando il maggiore orbitale degli atomi da una parte, e la maggiore orbita sul piano dell'eclittica dall'altra; dopo sarà considerata anche la nube di Oort. Il raggio degli atomi è relativamente poco variabile. Mentre la massa del nucleo aumenta di 238 volte dall'idrogeno all'uranio, dal raggio di Bohr dell'idrogeno al raggio dell'atomo dell'uranio l'aumento è solo di 2,7 volte. L'ordine di grandezza degli atomi di tutti gli elementi è lo stesso. Nemmeno quando l'atomo acquista elettroni si hanno aumenti di dimensioni straordinari. Per esempio, il raggio dell'atomo di zolfo aumenta del 50% quando acquista due elettroni; e l'atomo di cloro raddoppia il suo raggio quando diventa ione negativo.

Iniziamo il confronto tra lo spazio degli orbitali atomici e lo spazio delle orbite planetarie compresa la fascia di Kuiper, che si estende da circa 35 a 50 unità astronomiche (UA). A queste distanze il campo gravitazionale diminuisce lentamente. Aumentando ancora la distanza di una o due decine di UA, la diminuzione del campo gravitazionale resta nello stesso ordine di grandezza. Recenti scoperte hanno rilevato sistemi extrasolari che hanno due fasce di asteroidi a distanze proporzionate, rispetto alla massa della stella, come le distanze tra la fascia principale e quella di Kuiper nel sistema solare. Perciò considero che tutti i calcoli fatti di seguito con le misure del nostro sistema solare diano risultati validi per tutti i sistemi orbitanti aventi una sola stella di massa più o meno come quella del Sole, adatta per formare un sistema planetario stabile per miliardi di anni. Considero quindi che anche questi sistemi extrasolari abbiano la dimensione dell'orbita complanare massima alla gravità non molto diversa da  $2,37 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}^2$ , valore raggiunto nel nostro sistema solare a 50 UA, limite esterno della fascia di Kuiper.

Al di là di questo limite si trova la nube di Oort, nella quale dominerebbe il caos delle orbite. La stabilità delle orbite è favorita dalla quasi complanarità e dalla piccola eccentricità. Invece alla nube di Oort è attribuita la forma sferica in conseguenza delle orbite di inclinazione ed eccentricità qualsiasi, ipotizzate per spiegare la provenienza delle comete da ogni parte del cielo.

I calcoli della trattazione sono riassunti nel sommario finale.

## **2 - La proporzionalità tra il raggio dell'atomo e il raggio della fascia di Kuiper**

Per confrontare lo spazio occupato dagli orbitali con quello occupato dai pianeti prendiamo inizialmente il raggio del nucleo dell'idrogeno, cioè il protone ( $R_p = 8,4 \cdot 10^{-16} \text{ m}$ ), e il raggio di Bohr dell'atomo di idrogeno ( $R_H = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ ). Il rapporto tra i due valori è:

$$Q_e = \frac{R_H}{R_p} = \frac{5,3 \cdot 10^{-11}}{8,4 \cdot 10^{-16}} = 6,31 \cdot 10^4.$$

Similmente è calcolato il rapporto tra la distanza di 50 UA ( $7,48 \cdot 10^{12} \text{ m}$ ) del limite esterno della fascia di Kuiper ( $R_K$ ) e il

raggio del Sole ( $R_S$ ) di  $6,852 \cdot 10^8$  m:

$$Q_g = \frac{R_K}{R_S} = \frac{7,48 \cdot 10^{12}}{6,852 \cdot 10^8} = 1,09 \cdot 10^4.$$

Si constata che i due rapporti hanno lo stesso ordine di grandezza. Per escludere che la coincidenza sia casuale, si deve verificare che lo stesso ordine di grandezza risulti per altri rapporti simili. Cominciamo controllando il rapporto in atomi di altri elementi. Alcuni esempi (tab. 1) sono sufficienti per dimostrare che l'ordine di grandezza è lo stesso.

	<b>Raggio atomico (m)</b>	<b>Raggio nucleare (m)</b>	$Q_e$
H	$5,3 \cdot 10^{-11}$	$8,4 \cdot 10^{-16}$	$6,31 \cdot 10^4$
He	$9,3 \cdot 10^{-11}$	$1,7 \cdot 10^{-15}$	$5,47 \cdot 10^4$
Li	$1,55 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^{-15}$	$7,57 \cdot 10^4$
O	$7,3 \cdot 10^{-11}$	$2,7 \cdot 10^{-15}$	$2,71 \cdot 10^4$
S	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$3,4 \cdot 10^{-15}$	$3,77 \cdot 10^4$
K	$2,35 \cdot 10^{-10}$	$3,6 \cdot 10^{-15}$	$6,48 \cdot 10^4$
Fe	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$4,1 \cdot 10^{-15}$	$3,08 \cdot 10^4$
Rb	$2,48 \cdot 10^{-10}$	$4,7 \cdot 10^{-15}$	$5,27 \cdot 10^4$
Xe	$1,31 \cdot 10^{-10}$	$5,4 \cdot 10^{-15}$	$2,40 \cdot 10^4$
Cs	$2,67 \cdot 10^{-10}$	$5,5 \cdot 10^{-15}$	$4,89 \cdot 10^4$
Os	$1,35 \cdot 10^{-10}$	$6,2 \cdot 10^{-15}$	$2,19 \cdot 10^4$
Th	$1,8 \cdot 10^{-10}$	$6,6 \cdot 10^{-15}$	$2,74 \cdot 10^4$
U	$1,38 \cdot 10^{-10}$	$6,6 \cdot 10^{-15}$	$2,08 \cdot 10^4$

Tab. 1 - Esempi di rapporti tra raggi atomici e raggi nucleari di alcuni elementi.

Siccome l'approssimazione  $Q_e \approx Q_g \approx 10^4$  compara un microfenomeno a un fenomeno cosmologico, per attribuirvi un significato fisico, dovrebbero essere implicate tutte le quattro forze fondamentali. Per dimostrarlo sono necessari altri dati empirici e il sostegno dei principi generali che dipendono dalle quattro forze, cioè i numeri cosmici e il principio antropico. Il problema è sollevato, e si dovrà almeno delinearne i contorni.

### 3 - La legge dei quattro gusci del sistema solare

La supposizione di analogia tra gli spazi delle orbite dei pianeti e quelli dell'atomo, richiede l'analogia anche tra i due corpi centrali. Ovviamente non si può paragonare il nucleo dell'atomo col plasma della sfera solare. Si è costretti a immaginare la sostituzione del Sole con una stella che abbia la stessa densità del nucleo dell'atomo. La sostituzione richiede una stella di neutroni della

stessa massa del Sole, che possiamo immaginare con una operazione mentale di compattazione dei protoni con gli elettroni per ottenere i neutroni. L'idea sarebbe da respingere, perché le stelle di neutroni hanno l'intervallo di esistenza da 1,4 a 2,7 masse solari. Tuttavia il loro raggio varia appena da  $1,3 \cdot 10^4 m$  a  $1,63 \cdot 10^4 m$ , e la massa del Sole immaginata trasformata in una stella di neutroni avrebbe il raggio di  $1,17 \cdot 10^4 m$ . Rimarrebbe dello stesso ordine di grandezza. D'altronde, la legge della gravitazione universale suppone qualcosa del genere, cioè la concentrazione di tutta la massa di un corpo nel punto geometrico del baricentro. La massa del Sole trasformata in stella di neutroni ci offre il vantaggio di ottenere un corpo macroscopico di raggio dell'ordine di grandezza di  $10^4 m$  (lo stesso di  $Q_g$ ), condizione fondamentale della trattazione seguente.

Il raggio della stella di neutroni è calcolabile adottando la formula del raggio del nucleo degli atomi:

$$r = r_0 A^{1/3}$$

dove  $r$  è il raggio del nucleo,  $r_0 = 1,1$  è il fattore di proporzionalità e  $A$  è il numero di massa. L'unità di misura della formula è il fermi, pari a  $10^{-15} m$ . Per il nostro scopo il numero di massa è costituito dal numero di tutti i barioni che sono nel Sole, circa  $1,989 \cdot 10^{57}$ . Sostituendo, si ottiene il raggio ( $R_{sn1}$ ) della ipotetica stella di neutroni di una massa solare:

$$R_{sn1} = 1,1 \cdot (1,989 \cdot 10^{57})^{1/3} \cdot 10^{-15} = 1,17 \cdot 10^4 m.$$

$$R_1 = 1,17 \cdot 10^4 = R_{sn1}.$$

Adesso prendiamo il raggio della stella di neutroni come unità di misura delle distanze del sistema solare, il quale è divisibile in grandi gusci distinti da proprie dinamiche, composizioni chimiche e stati fisici: la sfera solare, il guscio delle orbite complanari e la nube di Oort.

Nei calcoli seguenti il simbolo del raggio dei gusci ha lo stesso numero dell'esponente. Il raggio del Sole ( $6,85223 \cdot 10^8 m$ ) è calcolato approssimativamente dal quadrato del raggio della stella di neutroni:

$$R_2 = (1,17 \cdot 10^4)^2 = 1,36 \cdot 10^8 \approx 6,85223 \cdot 10^8 m.$$

Il guscio successivo ha il raggio del limite esterno della fascia di Kuiper. Il suo valore è calcolato approssimativamente dalla terza potenza del raggio della stella di neutroni:

$$R_3 = (1,17 \cdot 10^4)^3 = 1,59 \cdot 10^{12} \approx 7,48 \cdot 10^{12} m.$$

Il guscio esterno è limitato dalla superficie della nube di Oort, che si suppone estesa fino a 100 000 UA, pari a  $1,496 \cdot 10^{16} m$ . Il suo valore è calcolato approssimativamente dalla quarta potenza del raggio della stella di neutroni:

$$R_4 = (1,17 \cdot 10^4)^4 = 1,86 \cdot 10^{16} \approx 1,496 \cdot 10^{16} m.$$

In conclusione, il raggio della stella di neutroni è la ragione della progressione geometrica che calcola la misura del raggio ( $R_G$ ) di ciascun guscio.

Legge dei quattro gusci del sistema solare:

$$R_G = (R_{sn1})^n,$$

dove  $R_{sn1}$  è il raggio della stella di neutroni e  $n$  è il numero ordinale dei gusci, a partire dalla stella di neutroni come primo guscio, cui segue il secondo guscio vuoto poiché spetterebbe al Sole. Nelle leggi del tipo di Titius-Bode può esserci qualche orbita sia vuota.

A fondamento di questa legge dovrebbe esserci il coordinamento tra le quattro forze fondamentali. Infatti il valore  $10^4$  è ottenuto anche dal rapporto tra il raggio del Sole reale e il raggio della ipotetica stella di neutroni:

$$\frac{R_S}{R_{sn1}} = \frac{6,852 \cdot 10^8}{1,17 \cdot 10^4} = 5,86 \cdot 10^4,$$

e tra il raggio dell'atomo di idrogeno e il raggio del protone:

$$\frac{R_H}{R_p} = \frac{5,3 \cdot 10^{-11}}{8,4 \cdot 10^{-16}} = 6,31 \cdot 10^4, \text{ da cui si ha la seguente:}$$

proporzione notevole tra le dimensioni del Sole e dell'atomo di idrogeno:

$$\frac{R_S}{R_{sn1}} \approx \frac{R_H}{R_p} \approx 10^4,$$

che contiene le dimensioni dei corpi fondamentali per le condizioni necessarie all'evoluzione fino alla vita intelligente. La molteplicità dei modi di ottenimento del valore adimensionale  $10^4$  (assimilabile ai numeri cosmici) sarebbe la dimostrazione induttiva della legge dei quattro gusci. Sui numeri cosmici si tratterà più avanti a proposito di un altro valore adimensionale ricavato dalla proporzione notevole.

Inoltre la proporzione notevole suggerirebbe la correlazione tra il sistema solare, l'atomo e la stella di neutroni, ma è troppo complessa per essere trattabile. I dati empirici finora raccolti possono almeno porre un problema. È necessario un criterio specifico di comparazione tra il Sole e l'atomo.

#### **4 - Il principio antropico e i rapporti tra le dimensioni dell'atomo e del Sole**

I paragoni del moto dei pianeti col moto degli elettroni, e del nucleo dell'atomo con la sfera di plasma del Sole, non tengono conto dell'enorme differenza di densità tra il nucleo atomico e il Sole. Perciò sopra è stata ipotizzata la massa solare trasformata in stella di neutroni. Tuttavia, nemmeno questa immaginazione è del tutto soddisfacente. Il fatto è che la massa del sistema solare si trova in grandissima parte nella sfera di plasma, e i pianeti sono trascurabili. L'immaginazione migliore consiste in un Sole formato da un nucleo positivo come hanno gli atomi, cioè costituito da tutti i pro-

toni e neutroni della massa solare, e gli elettroni vaganti nello spazio della sfera solare. Così diventa coerente la comparazione tra atomo di idrogeno e l'enorme atomo immaginario al posto del Sole.

Ci sono due formule che danno la comparazione tra particolari fenomeni minimi dell'atomo e del Sole, benché siano sproporzionate le loro dimensioni e siano fenomeni trattati da teorie diverse, la quantomeccanica per quello microfisico, la relatività generale per quello cosmologico.

(Di seguito i rapporti interpretati come numeri cosmici sono contrassegnati con §)

Invertendo i medi della proporzione notevole vista sopra si ottiene il rapporto tra i raggi degli spazi di orbitazione del Sole e dell'atomo:

$$\frac{R_S}{R_H} = \frac{6,85 \cdot 10^8}{5,3 \cdot 10^{-11}} = 1,293 \cdot 10^{19}, (\S)$$

e il rapporto tra i due nuclei:

$$\frac{R_{sn1}}{R_p} = \frac{1,17 \cdot 10^4}{8,4 \cdot 10^{-16}} = 1,391 \cdot 10^{19}, (\S)$$

Il risultato  $\approx 10^{19}$  dei rapporti è un numero adimensionale approssimato alla radice quadrata di  $10^{40}$ , il numero cosmico principale. Si dovrebbe pensare che anche  $\approx 10^{19}$  sia un numero cosmico. Ci sono tutte le caratteristiche per considerare l'uguaglianza di questi due rapporti una legge del principio antropico.

La seconda formula è la comparazione di due velocità. L'elettrone dell'atomo di idrogeno ha la velocità ( $v_{He}$ ) fino a  $\frac{1}{137}$  (valore di separazione della struttura fine dello spettro di un atomo) della velocità della luce ( $c$ ):

$$v_{He} = \frac{c}{137} = 2,2 \cdot 10^6 \text{ m s}^{-1}$$

Per il Sole calcoliamo la velocità di un elettrone in orbita sulla sua superficie. La forza centripeta che agisce è solo quella gravitazionale, perché elettroni e protoni si neutralizzano. La velocità tangenziale dell'elettrone ( $v_{Se}$ ) è:

$$v_{Se} = \sqrt{\frac{GM_S}{R_S}} = 4,4 \cdot 10^5 \text{ m s}^{-1},$$

Le due velocità sono abbastanza vicine, tanto da avere inferiore a 1 la differenza dei logaritmi dei due valori, per cui le consideriamo dello stesso ordine di grandezza:

$$v_{Se} \approx v_{He}.$$

Adesso la teoria che associa le dimensioni dell'atomo e del sistema solare può prendere corpo. È necessario iniziare escludendo dalla validità dei calcoli le stelle diverse dal Sole. Perciò si pone a fondamento il principio antropico, il quale è nato, tra l'altro, per spiegare l'esistenza dei numeri cosmici. Nel principio antropico

rientrano sia le dimensioni dell'atomo di idrogeno sia quelle del Sole. Conseguentemente l'uguaglianza approssimata tra le due velocità rientra nel principio antropico, e lo stesso dicasi per quanto si desume da questa uguaglianza.

Tuttavia bisogna distinguere tra i numeri cosmici che definirei "statici", perché indipendenti dal moto dei corpi (per es. il rapporto tra forza elettrica e forza gravitazionale di protone ed elettrone, che non dipende dalla loro distanza), e i numeri cosmici "dinamici", che valgono solo per una certa distanza dei corpi interagenti. Quelli dinamici sono riconosciuti quando si verificano due condizioni.

I numeri cosmici dinamici sono ottenuti (1) dal rapporto adimensionale tra una grandezza di un fenomeno della cosmologia e una grandezza di un fenomeno simile della microfisica, (2) purché i due fenomeni concorrano alle condizioni necessarie per la vita intelligente.

Questa regola si verifica nel nostro caso. Calcoliamo allora le grandezze conseguenti alla quasi uguaglianza tra le due suddette velocità. A velocità uguali dell'elettrone nei due fenomeni corrispondono uguali energie cinetiche, e quindi sono uguali anche le due energie potenziali elettrica e gravitazionale. L'energia potenziale elettrica del protone dell'idrogeno con un elettrone ( $U_{EHe}$ ) è:

$$U_{EHe} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^- e^-}{R_H} = 4,34 \cdot 10^{-18} \text{ J},$$

e l'energia potenziale gravitazionale della massa solare con un elettrone ( $U_{GSe}$ ) alla distanza del raggio solare è:

$$U_{GSe} = \frac{GM_p m_e}{R_S} = 1,76 \cdot 10^{-19} \text{ J}.$$

Le due velocità in realtà sono un po' diverse; e conseguentemente c'è per le energie potenziali la differenza di un ordine di grandezza, che però in astronomia è ammessa per i grandi numeri. Il reciproco di  $10^{-19}$  ha lo stesso ordine di grandezza dei due rapporti adimensionali visti sopra contrassegnati con (§). Questa (quasi) coincidenza dei valori dovrebbe avere un significato teorico. Siccome si tratta del confronto tra un fenomeno microfisico e uno cosmologico, il ricorrere del valore  $10^{19}$  dovrebbe indicare la coordinazione di tutte le quattro forze fondamentali. Il principio antropico sarebbe adatto per confermare questa ipotesi, se le forze dei due fenomeni avessero come rapporto un numero cosmico. Per verificarlo abbiamo due procedimenti.

Primo. - Il rapporto tra la forza elettrica tra protone ed elettrone dell'idrogeno ( $F_{EHe}$ ) e la forza gravitazionale sull'elettrone orbitante sulla superficie ( $F_{GSe}$ ) del Sole:

$$F_{EHe} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^- e^-}{R_H^2} = 8,2 \cdot 10^{-8} \text{ N},$$

$$F_{GSe} = \frac{GM_s m_e}{R_s^2} = 2,57 \cdot 10^{-28} \text{ N},$$

$$\frac{F_{EHe}}{F_{GSe}} = \frac{8,2 \cdot 10^{-8}}{2,57 \cdot 10^{-28}} = 3,2 \cdot 10^{20}, (\S)$$

Secondo. - Il rapporto tra la forza gravitazionale tra protone ed elettrone dell'atomo di idrogeno ( $F_{GHe}$ ) e la forza gravitazionale solare sull'elettrone orbitante tangenzialmente, già usata al punto primo:

$$F_{GHe} = \frac{GM_p m_e}{R_H^2} = 3,6 \cdot 10^{-47} \text{ N},$$

$$\frac{F_{GHe}}{F_{GSe}} = \frac{3,6 \cdot 10^{-47}}{2,57 \cdot 10^{-28}} = 1,39 \cdot 10^{-19} (\S).$$

Per i numeri cosmici è indifferente il segno positivo o negativo della potenza. I due numeri cosmici ottenuti dalle forze dimostrano che l'equilibrio tra la gravitazione solare e i campi elettromagnetici del plasma solare è correlato all'interazione che si stabilisce nell'atomo di idrogeno tra queste due forze.

In conclusione, i numeri cosmici ricavati sono dati empirici dai quali si induce al principio antropico. Le dimensioni dell'atomo di idrogeno e del Sole sono quelle giuste per l'esistenza della vita intelligente. Per esempio, facendo gli stessi calcoli per una stella nana i risultati sarebbero diversi.

Tutte le formule del procedimento esposto sono leggi del principio antropico. La più significativa è quella del suddetto primo rapporto tra le forze, che può essere così esposta:

Il rapporto tra la forza elettrica protone-elettrone dell'atomo di idrogeno e la forza gravitazionale sull'elettrone orbitante sulla superficie solare è uguale alla radice del numero cosmico principale ( $10^{40}$ ).

## 5 - Il principio antropico per le grandezze barioniche in unità di Planck

Abbiamo visto che, secondo la teoria esposta sopra, il rapporto tra il raggio della stella di neutroni e il raggio del protone ha un valore che potrebbe essere quello di un numero cosmico dinamico:  $1,391 \cdot 10^{19}$ . Coerentemente con questa teoria, si verifica che i valori in unità di Planck di questi due raggi coincidono con dei numeri cosmici. Il raggio della stella di neutroni espresso in lunghezza di Planck ( $L_p = 4,05 \cdot 10^{-35} \text{ m}$ ) risulta:

$$R_{sn1} = \frac{1,17 \cdot 10^4 \text{ m}}{4,05 \cdot 10^{-35} \text{ m}} = 2,9 \cdot 10^{38} L_p.$$

E il raggio del protone in unità di Planck risulta:

$$R_p = \frac{8,4 \cdot 10^{-16} \text{ m}}{4,05 \cdot 10^{-35} \text{ m}} = 2,07 \cdot 10^{19} L_p.$$

Siccome le unità di misura naturali di Planck sono ricavati con



combinazioni di costanti fondamentali, similmente a come si ricavano i numeri cosmici statici, si induce che le misure di Planck di questi due corpi appartenenti al principio antropico sono numeri cosmici statici. I calcoli fatti sopra sulle orbite starebbero a indicare che anche i raggi delle orbite siano un fenomeno del principio antropico.

Si dimostra facilmente che la combinazione delle dimensioni del protone con quelle della stella di neutroni sono quelle richieste dal numero cosmico principale. Calcoliamo prima il campo gravitazionale sulla superficie della stella di neutroni.

La massa della stella di neutroni in unità di Planck ( $M_p = 5,46 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$ ) risulta:

$$M_{sn1} = \frac{1,99 \cdot 10^{30}}{5,46 \cdot 10^{-8}} = 3,64 \cdot 10^{37} M_p .$$

Il campo gravitazionale sulla superficie della stella di neutroni risulta:

$$g_{sn1} = \frac{GM_{sn1}}{R_{sn1}^2} = 4,9 \cdot 10^{-40} \frac{M_p}{T_p^2} .$$

Immaginiamo adesso con un esperimento mentale di comprimere la massa della stella di neutroni fino al volume di un protone. Il campo gravitazionale aumenta fino al valore:

$$g_p = \frac{GM_{sn1}}{R_p^2} = 8,5 \cdot 10^{-2} \frac{M_p}{T_p^2} .$$

Il rapporto tra i due campi gravitazionali semplifica dai valori  $G$  e  $M_{sn1}$  il calcolo e si ottiene infine il rapporto tra le forze sulla superficie dei due corpi, rispetto alla stessa massa come corpo di prova.

$$\frac{g_p}{g_{sn1}} = 1,9 \cdot 10^{38} = \frac{R_{sn2}^2}{R_p^2} = \frac{F_p}{F_{sn2}} .$$

In conclusione, questo esperimento mentale ci dà il rapporto tra la forza fondamentale forte e la forza gravitazionale confermando che la massa della stella di neutroni (e di conseguenza la massa del Sole) ha l'ordine di grandezza appartenente al principio antropico.

\*) Revisione con ampliamento di:

*La legge dei quattro gusci del sistema solare in relazione con le unità di misura di Planck, cleup, Padova, 2013.*