

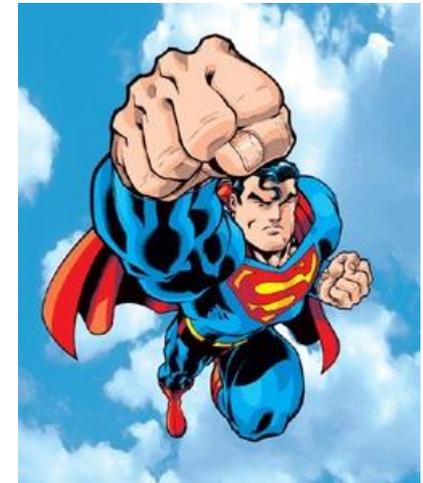
Alla scoperta di Krypton

Il metodo sperimentale applicato ai fumetti

**Il metodo
sperimentale**

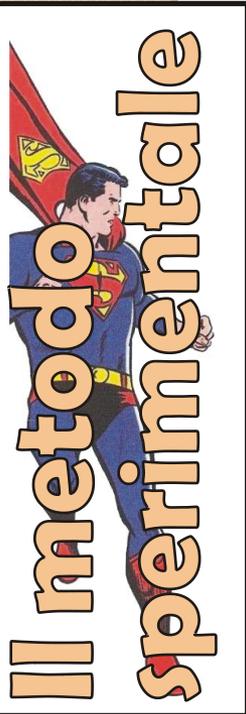
© 2024, Gualtiero Grassucci
gualtiero.grassucci@liceograssilatina.org
con la partecipazione della 2°H
del liceo scientifico G.B. Grassi di Latina

Liberamente tratto da:
Kakalios – La fisica dei supereroi – Le Scienze



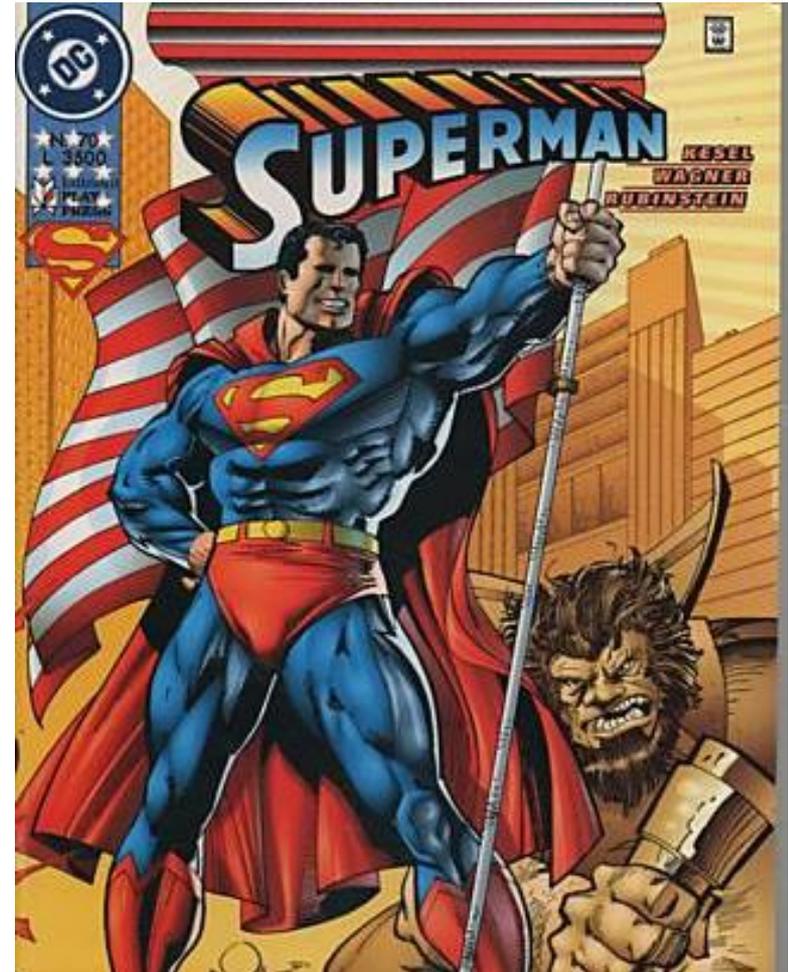
Le origini di Superman

- Jerry Siegel e Joseph Shuster concepirono inizialmente Su-perman come un eroe d'azione pulp, con una generosa aggiunta di fantascienza con cui dare un'aria di plausibilità alla grande forza del loro eroe
- Come raccontato in *Superman n. 1*, sul lontano pianeta Krypton lo scienziato Jor-El scopre che il suo mondo sta per esplodere, uccidendo tutti gli abitanti.
- Avendo solo un piccolo prototipo di navicella spaziale, lui e la moglie scelgono di salvare il figlio piccolo, Kal-El, in modo che sfugga al loro destino.
- Dopo aver viaggiato per grandi distanze nello spazio infinito, la navicella precipita sulla Terra, con il suo unico passeggero rimasto illeso.



La forza di Superman (I)

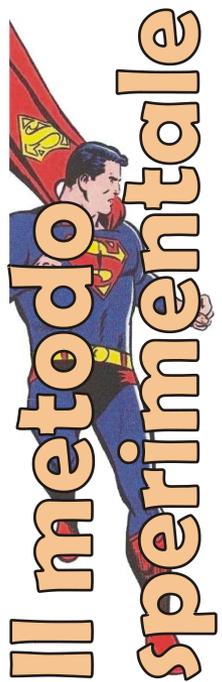
- La fonte dei poteri di Superman sulla terra fu inizialmente attribuita alla sua origine *kryptoniana*, in particolare al fatto che il suo pianeta avesse una gravità molto maggiore rispetto a quella terrestre.
- Per esempio, la grandezza della Luna, molto minore di quella della Terra, determina un campo gravitazionale piú debole, e quindi un corpo sulla Luna pesa di meno.



Il metodo sperimentale

La forza di Superman (2)

- Di conseguenza un terrestre, con ossa e muscoli abituati alla gravità del suo pianeta, sulla superficie lunare riesce a fare salti molto più lunghi e a sollevare pesi maggiori.
- Sebbene Superman sia stato mandato sulla Terra da piccolo, si presume che il suo DNA *kryptoniano* prevedesse lo sviluppo di muscoli e ossa adatti a un campo gravitazionale più forte.



Il metodo
sperimentale

Il metodo sperimentale



Il primo Superman

- Nel 1934 Superman diventa l'eroe che segna un'epoca
- Un essere eccezionale venuto dallo spazio (da *Krypton*)
- I cui poteri derivano dalla maggiore gravità del pianeta natale
- Può saltare fino a 200 metri di altezza

Il metodo sperimentale

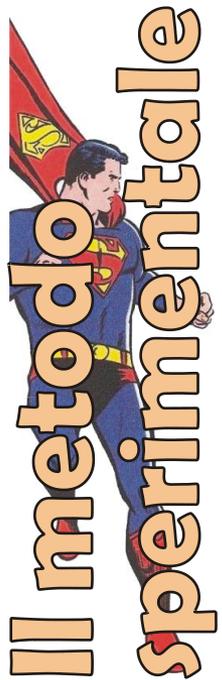


Il metodo sperimentale



La fisica dei Supereroi

- Applichiamo alcuni principi fisici alle vignette del fumetto
- Usiamo la vignetta come un'osservazione *sperimentale*
- Il nostro obiettivo è cercare di **formulare un'ipotesi** sul pianeta natale di Superman, *Krypton*
- Infine trovare una o più vignette che ci diano **una conferma per** la nostra **teoria**

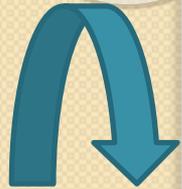


Il metodo
sperimentale



Velocità iniziale – I (conservazione dell'energia)

Cerchiamo di calcolare la **velocità iniziale** con cui Superman spicca il salto ... poi riprendi il percorso



usiamo la legge di conservazione dell'energia meccanica per calcolare la velocità iniziale di Superman

$$U + K = 0 + \frac{1}{2}mv^2$$

$$U + K = mgh + 0$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

eguagliamo le due espressioni ...

... e ricaviamo la velocità, come desiderato!

$$v = \sqrt{2as} \approx \sqrt{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 200 \text{ m}} \approx 62,6 \text{ m/s}$$



Il metodo sperimentale

Velocità iniziale – II

Tanto per farci un'idea, convertiamo la velocità da metri al secondo a chilometri all'ora

nel calcolo precedente abbiamo tenuto conto del fatto che l'accelerazione di gravità della Terra è pari a:

$$a = g \approx 9,8 m/s^2$$

trasformiamo i metri al secondo in chilometri all'ora

$$v \approx 62,6 m/s = 62,6 \frac{0,001 km}{1}{3600} h \approx 225,4 km/h$$

Per saltare un palazzo di 200 metri Superman deve avere una velocità iniziale di **oltre 225 chilometri all'ora!**

225 km/h

Il metodo sperimentale



La forza del salto

Kaboom

25044N

Il metodo sperimentale

Ora calcoliamo la forza necessaria per il salto. Possiamo usare la Legge fondamentale della dinamica: $F=ma$.

Supponiamo che la massa di Superman sia 100kg e che il tempo di spinta sia pari ad un quarto di secondo.

Usiamo la definizione di accelerazione

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \approx \frac{62,6 \text{ m/s}}{0,25 \text{ s}} \approx 250,4 \text{ m/s}^2$$

sostituiamo l'accelerazione che abbiamo ricavato nel principio

$$f = ma \approx 100 \text{ kg} \cdot 250,4 \text{ m/s}^2 \approx 25044 \text{ N}$$

L'accelerazione di gravità **wow!**

Facciamo ancora un'ipotesi: per saltare l'Uomo d'Acciaio ha esercitato una forza che è il 70% in più di quella necessaria per rimanere in piedi. In altre parole 70% più del suo peso.

Questa ipotesi è sufficiente per ricavare

L'accelerazione di Krypton

primo passo: il peso di Superman

$$p_K = 25044N \cdot \frac{100}{170} \approx 14731,8N$$

$$p_K = m \cdot g_K$$

$$g_K = \frac{p_K}{m} \approx \frac{14731,8N}{100kg} \approx 147,3m/s^2$$

secondo passo: visto che la massa è la stessa sia sulla Terra che su Krypton, ricaviamo l'accelerazione di gravità di Krypton

finito: confrontiamo le due accelerazioni di gravità

$$\frac{g_K}{g_T} \approx \frac{147,3 m/s^2}{9,8 m/s^2} \approx 15$$

15 volte di più

Il metallo
sperimentale

Ripasso: la gravità

Proporzionale al prodotto delle masse

- La legge che regola le attrazioni gravitazionali tra i corpi dotati di massa è

la legge di gravitazione universale:

Costante di gravitazione

universale $G \approx 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$

$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

- Spiega la mela che cade sulla Terra, il moto dei pianeti attorno alla loro stessa, il moto delle stelle nelle galassie

Inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra i due baricentri

Il metodo sperimentale

Accelerazione di gravità e massa

Le informazioni fin qui raccolte, e calcolate dovrebbero consentire di ipotizzare le dimensioni di Krypton.



mettiamo a confronto la legge di gravitazione universale ...

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

... con la legge fondamentale della dinamica applicata ad un corpo sulla Terra

$$G \frac{m_T \cdot m}{R_T^2} = mg_T$$

ma allora ...
L'accelerazione di gravità della Terra si può calcolare così

$$g_T = G \frac{m_T}{R_T^2}$$

l'idea è di usare il rapporto tra le due accelerazioni di gravità per ricavare il rapporto che c'è tra raggio e densità della Terra paragonati a raggio e densità di Krypton. Ora abbiamo l'accelerazione di gravità in funzione di massa e raggio terrestri, una relazione analoga deve valere per Krypton.

Il metodo sperimentale

Massa e densità



Il metodo sperimentale

vediamo adesso se si riesce a scrivere la massa della Terra (e quindi anche quella di Krypton) in funzione della densità media del pianeta e del raggio dello stesso.

... ora partiamo dalla densità media del pianeta

$$\delta_T = \frac{m_T}{V_T}$$

... che può diventare ...

$$m_T = \delta_T \cdot V_T$$

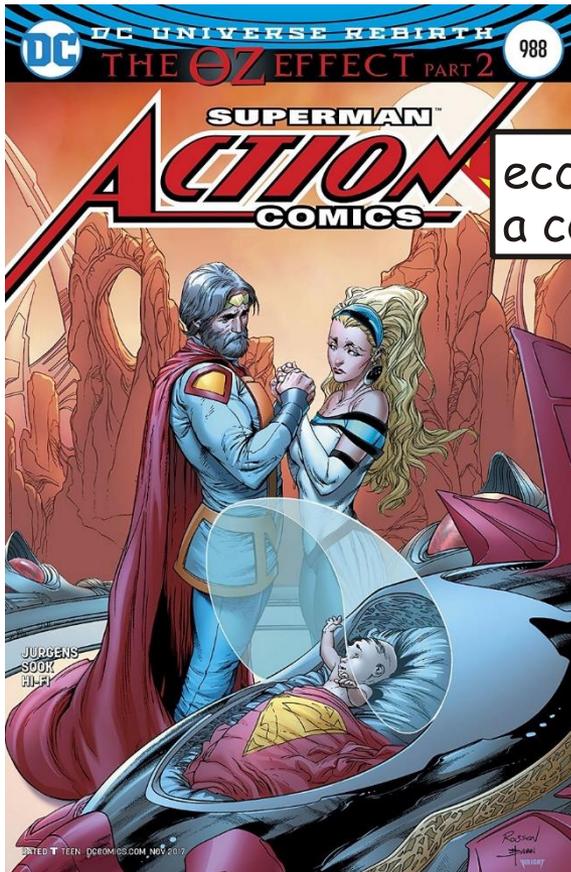
infine, tenendo conto che la Terra ha una forma più o meno sferica ...

$$m_T = \delta_T \cdot \frac{4}{3} \pi R_T^3$$

$$m_K = \delta_K \cdot \frac{4}{3} \pi R_K^3$$

una relazione simile deve valere anche per Krypton

Confronto di accelerazioni



infine mettiamo a confronto le ultime due espressioni appena ricavate, ricordando che il rapporto tra l'accelerazione di gravità di Krypton e quella terrestre è pari a 15

ecco le due espressioni a confronto ...

$$\frac{g_K}{g_T} = \frac{G \frac{m_K}{R_K^2}}{G \frac{m_T}{R_T^2}} = \frac{m_K}{R_K^2} \cdot \frac{R_T^2}{m_T}$$

da cui si ricava, con qualche passaggio (non vi fate spaventare dalle frazioni)

$$\frac{g_K}{g_T} = \frac{\frac{\delta_K \cdot \frac{4}{3} \pi R_K^3}{R_K^2}}{\frac{\delta_T \cdot \frac{4}{3} \pi R_T^3}{R_T^2}} = \frac{\delta_K \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot R_K}{\delta_T \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot R_T} = \frac{\delta_K \cdot R_K}{\delta_T \cdot R_T}$$

Il metodo sperimentale

Dimensioni e densità



Il metodo sperimentale

in altre parole, il prodotto di raggio e densità di Krypton è quindici volte maggiore del prodotto di raggio e densità della Terra!

$$\frac{\delta_K \cdot R_K}{\delta_T \cdot R_T} = 15$$

$$\delta_K \cdot R_K = 15 \cdot \delta_T \cdot R_T$$

che si può scrivere anche in questo modo

la densità ed il raggio di Krypton possono assumere diversi valori ma in modo che il loro prodotto sia sempre quindici volte più grande dell'analogo prodotto di densità e raggio terrestri. si può avere una situazione in cui Krypton ha le stesse dimensioni della Terra, stesso raggio, ma allora, per conservare il rapporto deve essere quindici volte più denso, oppure Krypton ha la stessa densità media della Terra ma dimensioni 15 volte superiori.

WOW!

$$\delta_K \cdot R_K \approx 15 \cdot \delta_T \cdot R_T$$

Il prodotto di densità e raggio di Krypton è **quindici volte** quello della Terra!

Krypton

- Ci sono diverse possibilità
- La prima: *Krypton* ha lo stesso raggio della Terra ma è **15 volte più denso**

Ma non esiste materia con tale densità

- All'estremo opposto: *Krypton* è **15 volte più grande** della Terra ma ha la stessa densità

Ma allora sarebbe un gigante gassoso, quasi una piccola stella (confronta la struttura con un pianeta roccioso)

$$\delta_{H_2O} = 1 \frac{g}{cm^3}$$

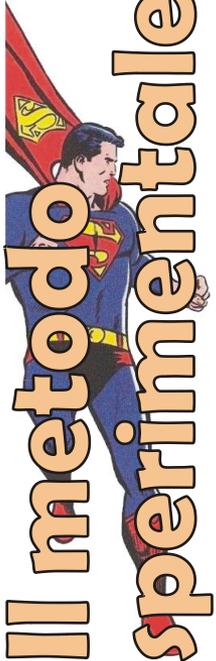
$$\delta_T = 5 \frac{g}{cm^3}$$

$$\delta_{Pb} = 11 \frac{g}{cm^3}$$

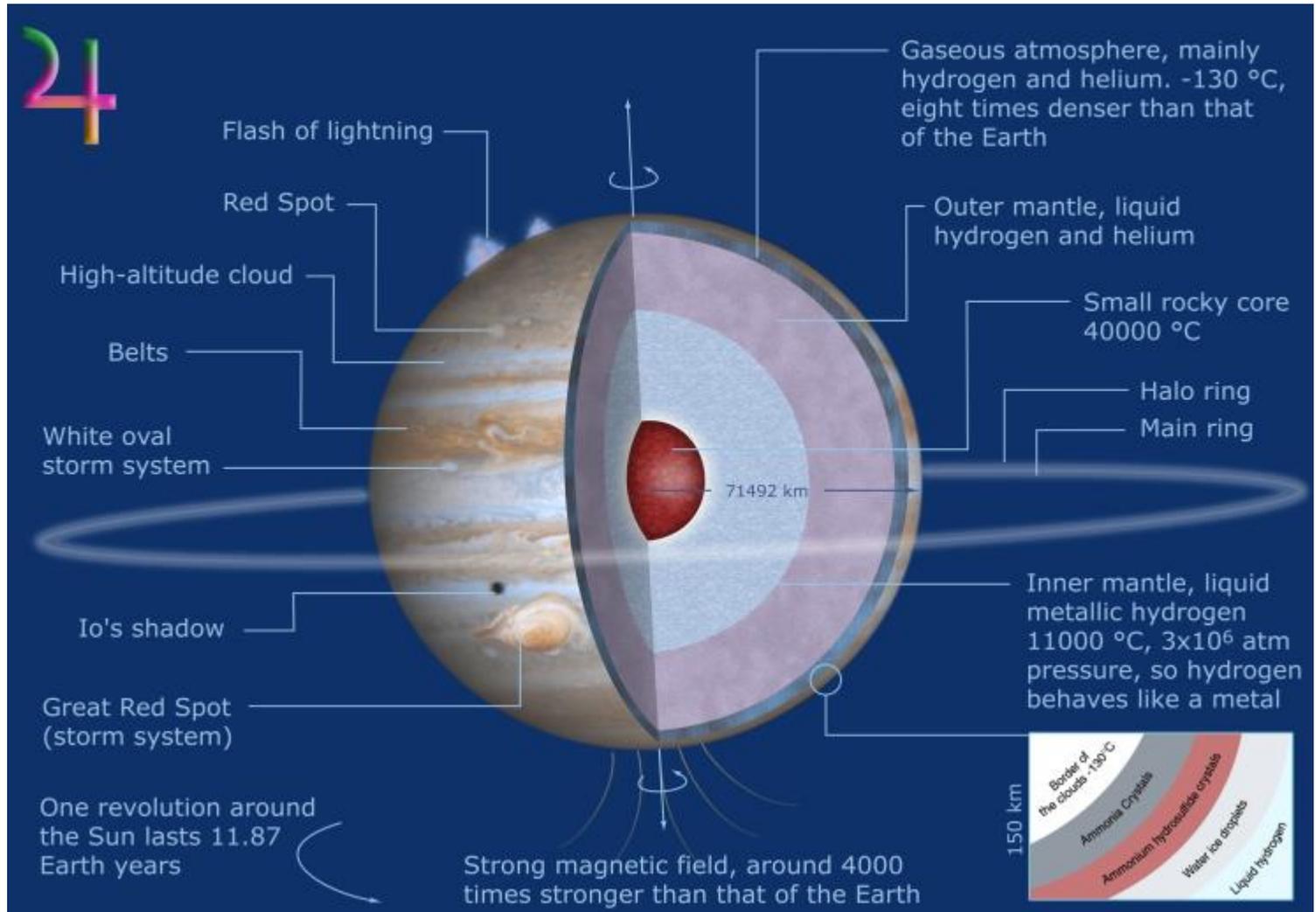
$$\delta_U = 19 \frac{g}{cm^3}$$

$$\delta_K = 75 \frac{g}{cm^3}$$

Il metodo sperimentale

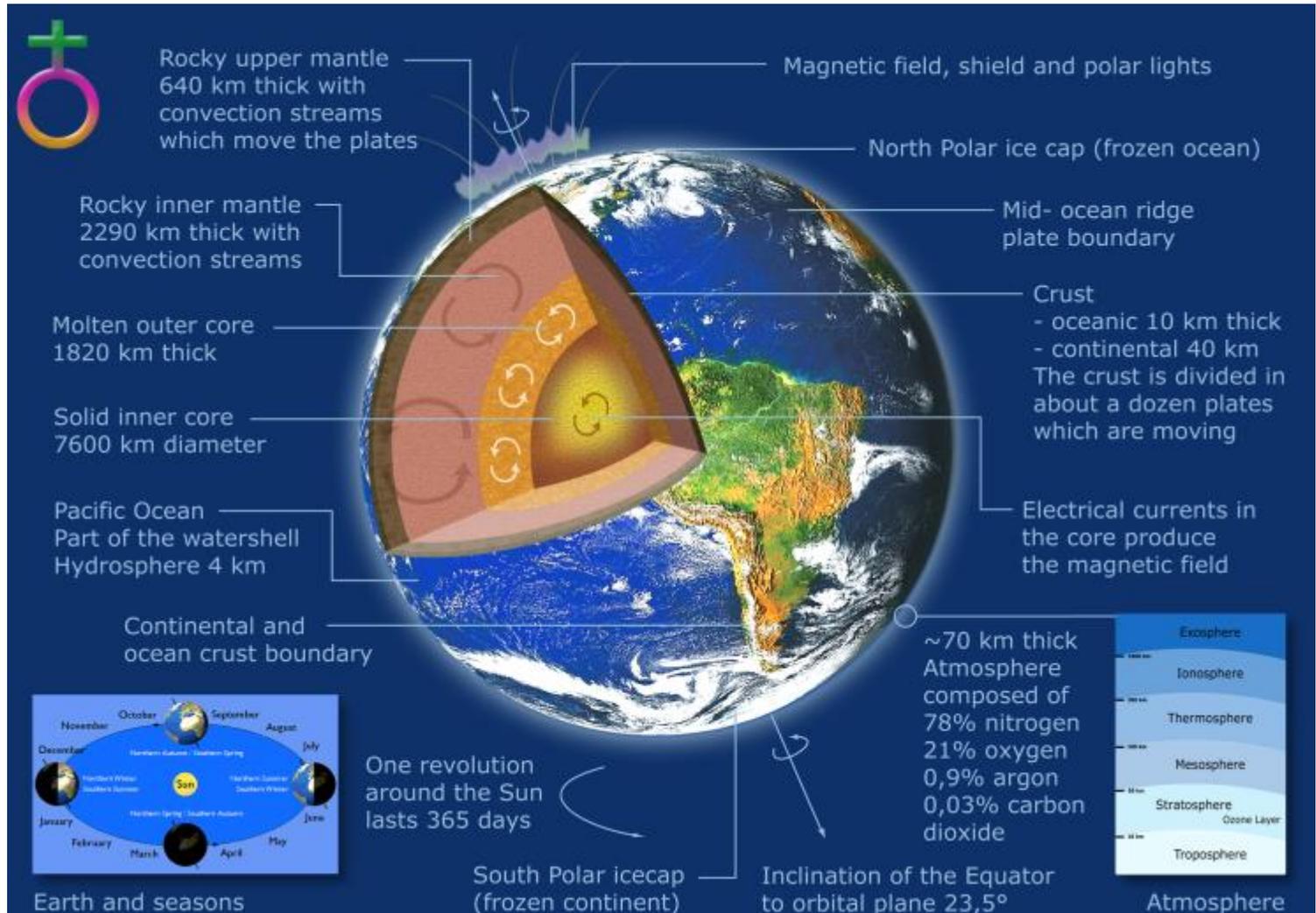


Un gigante gassoso: Giove



Il metodo sperimentale

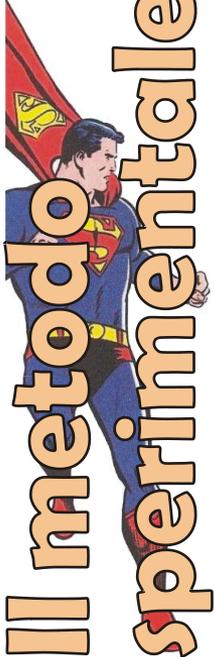
Un pianeta roccioso: la Terra



Il metodo sperimentale

Una terza possibilità

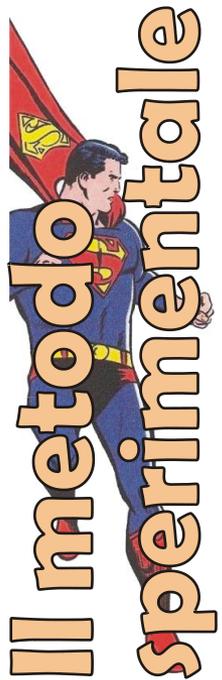
- Un pianeta con un nucleo di materia densissima, come quella di una stella di neutroni, e di raggio paragonabile a quello terrestre.
 - Una stella di neutroni è una stella nella fase finale della sua vita, un crepuscolo nel quale la **terrificante forza gravitazionale** ha compresso la materia con una mostruosa pressione tale da costringere gli elettroni a collassare sul nucleo, annullando le cariche elettriche.
- Un nucleo di soli 600 metri di diametro sarebbe sufficiente per creare una accelerazione di gravità pari a $15 g$



Il metodo sperimentale

Krypton verso il disastro!

- Un nucleo *superdenso* come quello ipotizzato renderebbe estremamente difficile mantenere una crosta planetaria stabile
- Le gigantesche forze esercitate dal nucleo avrebbero catastrofiche conseguenze e, prima o poi, provocherebbero un immenso sconvolgimento, capace di distruggere il pianeta.
- In effetti Superman arriverà sulla Terra proprio a causa di un cataclisma biblico che ha distrutto il suo pianeta natale
- Adesso sappiamo anche perché!
- **La nostra teoria sembra confermata dai fatti: una previsione teorica è stata verificata da un'osservazione sperimentale**



Il metodo
sperimentale

Verifica sperimentale

e, infatti ...

un nucleo di soli 600 metri di diametro sarebbe sufficiente..

un nucleo superdenso così prima o poi, causerebbe un immane sconvulso, distruggendo il pianeta.

la distruzione del pianeta sarebbe una verifica della nostra teoria!



Il metodo sperimentale

un nucleo di soli 600 metri di diametro sarebbe sufficiente..

un nucleo superdenso così prima o poi, causerebbe un immane sconvolgimento, distruggendo il pianeta.

la distruzione del pianeta sarebbe una verifica della nostra teoria!



