XIX Olimpiadi Italiane di Astronomia

Corso di preparazione alla Gara Interregionale

Categoria Junior 1 – Lezione 2

Problema 16

Un pianeta descrive attorno alla sua stella un'orbita circolare con raggio uguale al semiasse maggiore dell'orbita della Terra intorno al Sole e con periodo di rivoluzione pari a un anno terrestre. Calcolate la massa della stella, considerando che rispetto a essa la massa del pianeta è trascurabile.

Soluzione:

Detti **a** il semiasse maggiore dell'orbita, **T** il periodo di rivoluzione (= 365.26 giorni = $3.156 \cdot 10^7$ s) e $\mathbf{M_s}$ la massa della stella, la III Legge di Keplero assume la forma:

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\,\pi^2}{G \cdot M_S}$$

dalla quale possiamo ricavare la massa della stella:

$$M_S = \frac{4\,\pi^2 \cdot a^3}{G \cdot T^2} \simeq \frac{4\,\pi^2 \cdot (149.6 \cdot 10^9\, m)^3}{6.674 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg\, s^2} \cdot (3.156 \cdot 10^7\, s)^2} \simeq 1.989 \cdot 10^{30}\ kg$$

Nota.

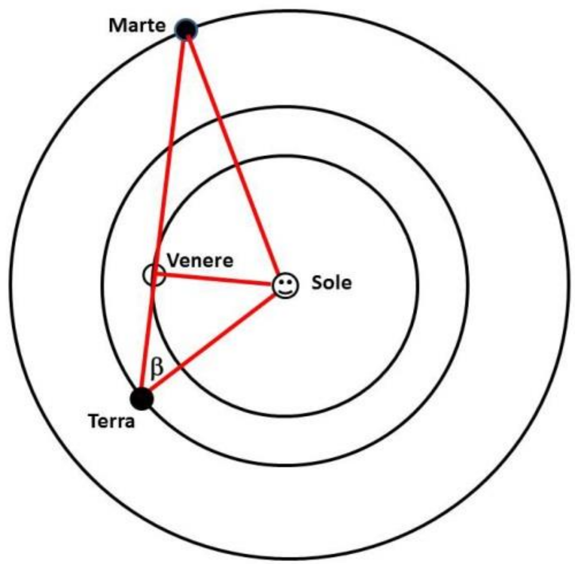
Il risultato poteva essere ricavato anche senza effettuare calcoli. Infatti, se il pianeta ha gli stessi parametri orbitali (semiasse maggiore e periodo) della Terra, la stella attorno a cui orbita deve avere la stessa massa del Sole, ed infatti il valore ottenuto coincide con il valore della massa solare presente nella Tabella.

Problema 17

Osservate una configurazione planetaria molto particolare, con Venere alla massima elongazione ovest e angolarmente vicinissimo (in congiunzione) con Marte. Calcolate la distanza Terra-Marte in quel momento, assumendo tutte le orbite circolari e trascurando le loro inclinazioni sull'eclittica.

Suggerimento: realizzate un disegno (in scala) che mostri l'orbita dei tre pianeti attorno al Sole. Collocate i pianeti come descritto nel testo del problema, assumendo che Venere e Marte siano così vicini da poter essere collocati sulla stessa retta.

Soluzione:



Quando Venere è a una massima elongazione, la retta Terra-Venere è tangente all'orbita di Venere. Con le approssimazioni usate possiamo assumere che Sole, Terra, Venere e Marte si trovino ai vertici di due triangoli rettangoli, con il lato Venere-Sole in comune. Detti **VT** la distanza Terra-Venere, **MV** la distanza Marte-Venere, **VS** la distanza Venere-Sole, **MS** la distanza Marte-Sole, **TS** la distanza Terra-Sole e **MT** la distanza Marte-Terra possiamo risolvere il problema, utilizzando i dati in Tabella, con il teorema di Pitagora

$$VT = \sqrt{TS^2 - VS^2} \simeq \sqrt{2.238 \cdot 10^{16}\ km^2 - 1.171 \cdot 10^{16}\ km^2} \simeq$$
$$\simeq 103.3 \cdot 10^6\ km$$

$$MV = \sqrt{MS^2 - VS^2} \simeq \sqrt{5.194 \cdot 10^{16}\ km^2 - 1.171 \cdot 10^{16}\ km^2} \simeq$$
$$\simeq 200.6 \cdot 10^6\ km$$

$$MT = VT + MV \simeq 103.3 \cdot 10^6\ km + 200.6 \cdot 10^6\ km \simeq 303.9 \cdot 10^6\ km$$

Problema 18

La seguente frase contiene alcune informazioni errate, dite quali. Mercurio è il pianeta più piccolo del Sistema Solare ed è quello più vicino al Sole. E' l'unico pianeta che dalla Terra possiamo osservare transitare sul disco solare ed è stato osservato in opposizione nell'estate del 2015.

Soluzione:

Mercurio è il pianeta più piccolo del Sistema Solare ed è quello più vicino al Sole	Corretto
E' l'unico pianeta che dalla Terra possiamo osservare transitare sul disco solare	Errato: oltre a Mercurio anche l'altro pianeta interno, Venere, può essere visto transitare davanti al Sole
ed è stato osservato in opposizione nell'estate del 2015	Errato: i pianeti interni non possono mai essere in opposizione con il Sole

Problema 19

Calcolate la forza di attrazione gravitazionale Sole-pianeta per gli otto pianeti del Sistema Solare e compilate una tabella con i valori ottenuti. Ordinate infine i pianeti per valori crescenti dell'attrazione gravitazionale.

Soluzione:

Utilizzando la legge di gravitazione universale $F = \frac{G\,M\,m}{d^2}$ e i valori di massa e distanza riportati nella Tabella, otteniamo per la forza (in N) i seguenti valori:

PIANETA	FORZA GRAVITAZIONALE PIANETA-SOLE (N)
Mercurio	$1.307 \cdot 10^{22}$
Venere	$5.519 \cdot 10^{22}$
Terra	$3.542 \cdot 10^{22}$
Marte	$1.640 \cdot 10^{21}$
Giove	$4.161 \cdot 10^{23}$
Saturno	$3.706 \cdot 10^{22}$
Urano	$1.398 \cdot 10^{21}$
Nettuno	$6.719 \cdot 10^{20}$

L'ordine dei pianeti per valori crescenti della forza gravitazionale Sole-pianeta risulta quindi: Nettuno, Urano, Marte, Mercurio, Terra, Saturno, Venere, Giove.

Problema 20

Calcolate il peso su Marte di un corpo di massa pari a 1 kg

Soluzione:

Detti $\mathbf{M_M}$ e $\mathbf{R_M}$ la massa e il raggio di Marte, l'accelerazione di gravità $\mathbf{g_M}$ sulla superficie di Marte vale:

$$g_M = \frac{G\,M_M}{{R_M}^2} \simeq \frac{6.674 \cdot 10^{-11}\dfrac{m^3}{kg\,s^2} \cdot 6.417 \cdot 10^{23}\ kg}{(3397 \cdot 10^3\ m)^2} \simeq 3.711\ \frac{m}{s^2}$$

Quindi il peso **P** di un corpo di massa **m** pari a 1 kg è:

$$P = m \cdot g_M \simeq 1\ kg \cdot 3.711\ \frac{m}{s^2} \simeq 3.711\ \mathrm{N}$$

Per confronto si consideri che una massa di 1 kg sulla Terra (dove $g_T = 9.807\ \frac{m}{s^2}$) pesa 9.807 N.

Problema 21

Calcolate, supponendo che la vostra massa sia di 50.0 kg, il vostro peso sulla superficie della Luna. Supponete poi di raddoppiare il raggio della Luna senza modificarne la massa, quanto diventerebbe il vostro peso?

Soluzione:

Detti $\mathbf{M_L}$ e $\mathbf{R_L}$ la massa e il raggio della Luna, l'accelerazione di gravità $\mathbf{g_L}$ sulla superficie lunare vale:

$$\mathrm{g_L} = \frac{\mathrm{G\,M_L}}{\mathrm{R_L}^2} \simeq \frac{6.674 \cdot 10^{-11}\,\frac{m^3}{kg\,s^2} \cdot 7.346 \cdot 10^{22}\ kg}{(1738 \cdot 10^3\,m)^2} \simeq 1.623\ \frac{m}{s^2}$$

Quindi il peso **P** sulla Luna di una persona con una massa **m** pari a 50.0 kg è:

$$P = m \cdot g_L \simeq 50.0\,kg \cdot 1.623\,\frac{m}{s^2} \simeq 81.2\,N$$

Se la Luna avesse stessa massa ma raggio doppio, l'accelerazione di gravità $\mathbf{g_{L\text{-}2R}}$ sulla superficie varrebbe:

$$\mathrm{g_{L-2R}} = \frac{\mathrm{G\,M_L}}{(2\,R_L)^2} \simeq \frac{6.674 \cdot 10^{-11}\,\frac{m^3}{kg\,s^2} \cdot 7.346 \cdot 10^{22}\ kg}{(3476 \cdot 10^3\,m)^2} \simeq 0.4058\ \frac{m}{s^2}$$

L'accelerazione di gravità sarebbe quindi un quarto di quella attuale e il peso $\mathbf{P_{2R}}$ di una persona con una massa **m** pari a 50.0 kg sarebbe:

$$P_{2R} = m \cdot g_{L-2R} \simeq 50.0\,kg \cdot 0.4058\,\frac{m}{s^2} \simeq 20.3\,N$$

Problema 22

Calcolate la massa di un pianeta che ha un diametro D = 4880 km e accelerazione di gravità alla superficie pari a $3.70\ \frac{m}{s^2}$

Soluzione:

Nota l'accelerazione di gravità in superficie $\mathbf{g_P}$ e il raggio $\mathbf{R_P}$ (= $\frac{D}{2}$), la massa del pianeta $\mathbf{M_P}$ è data dalla relazione:

$$\mathrm{M_P} = \frac{\mathrm{g_P}\,\mathrm{R_P}^2}{\mathrm{G}} \simeq \frac{3.70\ \frac{m}{s^2} \cdot (2440 \cdot 10^3\ m)^2}{6.674 \cdot 10^{-11}\ \frac{m^3}{kg\ s^2}} \simeq 3.30 \cdot 10^{23}\ kg$$

Dai dati in Tabella, nel limite della precisione, possiamo affermare che si tratta di Mercurio.

Problema 23

Due astronauti sulla superficie di Marte cercano di sollevare un veicolo, la cui massa è di 255.1 kg, rimasto senza energia. Che forza totale minima devono applicare?

Soluzione:

Per sollevare il veicolo i due astronauti devono applicare una forza verso l'alto appena maggiore della forza peso. Detti rispettivamente $\mathbf{g_M}$, $\mathbf{M_M}$, e $\mathbf{R_M}$ l'accelerazione di gravità in superficie, la massa e il raggio di Marte, il peso **P** di un corpo di massa **m** è dato dalla relazione: $P = m \cdot g_M$

$$P = m \cdot g_M = m \cdot \frac{G\,M_M}{{R_M}^2} \simeq 255.1\ \text{kg} \cdot \frac{6.674 \cdot 10^{-11}\,\frac{m^3}{kg\,s^2} \cdot 6.417 \cdot 10^{23}\,kg}{(3397 \cdot 10^3\,m)^2} \simeq 946.8\ \text{N}$$

Quindi i due astronauti dovranno applicare una forza totale F tale che:

$$F > m \cdot g_M > 946.8\ \text{N}$$

Problema 24

Un asteroide ha un raggio di 200 km e la sua densità media è pari a quella di Mercurio. Calcolate il valore dell'accelerazione di gravità alla superficie dell'asteroide in $\frac{m}{s^2}$

Soluzione

La massa **M** di un corpo, nota la sua densità media **ρ** e il volume **V** vale: $M = \rho V$

Per un corpo sferico di raggio **R** si ha: $M = \rho V = \rho \frac{4}{3} \pi R^3$

Il problema si può risolvere calcolando la densità di Mercurio dai dati nella Tabella e inserendo il valore ottenuto nella formula per il calcolo della massa dell'asteroide. Tuttavia esiste una soluzione più «veloce»

Detti $\mathbf{R_a}$ e $\mathbf{R_M}$ i raggi dell'asteroide e di Mercurio, consideriamo il rapporto tra la massa dell'asteroide $\mathbf{M_a}$ e quella di Mercurio $\mathbf{M_M}$:

$$\frac{M_a}{M_M} = \frac{\rho_a \frac{4}{3} \pi {R_a}^3}{\rho_M \frac{4}{3} \pi {R_M}^3}$$

Poiché le densità dei due corpi sono uguali avremo infine:

$$M_a = M_M \left(\frac{R_a}{R_M}\right)^3 \simeq 3.301 \cdot 10^{23} kg \left(\frac{200\ km}{2440\ km}\right)^3 \simeq 3.301 \cdot 10^{23} kg \cdot 5.51 \cdot 10^{-4} \simeq 1.82 \cdot 10^{20} kg$$

Nota la massa possiamo calcolare l'accelerazione di gravità $\mathbf{g_a}$ sulla superficie dell'asteroide

$$g_a = \frac{G \cdot M_a}{{R_a}^2} \simeq \frac{6.674 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg\ s^2} \cdot 1.82 \cdot 10^{20}\ kg}{(200 \cdot 10^3\ m)^2} \simeq 0.304 \frac{m}{s^2}$$

Problema 25

La forza di gravità che si esercita tra due corpi di forma sferica vale $F = 10^4$ N. Il primo corpo ha raggio $R_1 = 30.20$ km e densità $\varrho_1 = 1.420\ g/cm^3$, il secondo corpo ha raggio $R_2 = 15.10$ km e densità $\varrho_2 = 3.440\ g/cm^3$. A che distanza si trovano i centri dei due corpi?

Soluzione

Esprimiamo le densità dei due corpi in $\frac{kg}{m^3}$. Il fattore di conversione è: $\frac{g}{cm^3} = \frac{10^{-3}}{10^{-6}} \frac{kg}{m^3} = 10^3 \frac{kg}{m^3}$

Le densità dei due corpi valgono quindi:

$\rho_1 = 1.420 \frac{g}{cm^3} = 1.420 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$ $\qquad$ $\rho_2 = 3.440 \frac{g}{cm^3} = 3.440 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$

Essendo $M = \varrho V$ e poiché i due corpi sferici con raggio $R_1 = 30.20$ km $= 30.20 \cdot 10^3$ m e $R_2 = 15.10$ km $= 15.10 \cdot 10^3$ m per le masse $\mathbf{M_1}$ e $\mathbf{M_2}$ otteniamo:

$$M_1 = \rho \frac{4}{3} \pi R_1{}^3 \simeq 1.420 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot 2.754 \cdot 10^{13}\, m^3 \simeq 1.638 \cdot 10^{17}\, kg$$

$$M_2 = \rho \frac{4}{3} \pi R_2{}^3 \simeq 3.440 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot 3.443 \cdot 10^{12}\, m^3 \simeq 4.961 \cdot 10^{16}\, kg$$

Ricaviamo infine la distanza **d** tra i centri dei due corpi dalla legge di Gravitazione Universale:

$$d = \sqrt{\frac{G\, M_1\, M_2}{F}} \simeq \sqrt{\frac{6.674 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg\, s^2} \cdot 1.638 \cdot 10^{17}\, kg \cdot 4.961 \cdot 10^{16}\, kg}{10^4 \frac{kg\, m}{s^2}}} \simeq 7.364 \cdot 10^9\, m$$

$$= 7.364 \cdot 10^6\, km$$

Problema 26

Calcolare l'accelerazione di gravità al limite superiore della fotosfera solare e quanto dovrebbe valere il raggio della Terra per avere alla sua superficie la stessa accelerazione di gravità.

Soluzione

Dette $\boldsymbol{M_\odot}$ la massa del Sole e $\boldsymbol{R_\odot}$ il suo raggio, l'accelerazione di gravità $\mathbf{g_\odot}$ alla superficie del Sole è data dalla relazione:

$$g_\odot = \frac{G \cdot M_\odot}{R_\odot^{\ 2}} \simeq \frac{6.674 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg\, s^2} \cdot 1.989 \cdot 10^{30}\, kg}{(6.955 \cdot 10^8\ \mathrm{m})^2} \simeq \frac{6.674 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg\, s^2} \cdot 1.989 \cdot 10^{30}\, kg}{4.837 \cdot 10^{17}\, m^2} \simeq 274.4\ \frac{m}{s^2}$$

La relazione che lega il raggio della Terra $\mathbf{R_T}$ con la sua massa $\mathbf{M_T}$ e l'accelerazione di gravità $\mathbf{g_T}$ è:

$$R_T = \sqrt{\frac{G \cdot M_T}{g_T}}$$

Se in questa relazione poniamo $\mathbf{g_{T1}} = g_\odot = 274.4\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$, otteniamo il raggio $\mathbf{R_{T1}}$ che dovrebbe avere la Terra:

$$R_{T1} = \sqrt{\frac{G \cdot M_T}{g_{T1}}} \simeq \sqrt{\frac{6.674 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg\, s^2} \cdot 5.972 \cdot 10^{24}\, kg}{274.4\ \frac{m}{s^2}}} \simeq 1205 \cdot 10^3\, m \simeq 1205\, km$$

Problema 27

Supponete di raddoppiare la massa del Sole. Mantenendo inalterato il valore dell'UA, quanto varrebbe il nuovo periodo di rivoluzione della Terra? Se la massa di Mercurio raddoppiasse, quale sarebbe il suo nuovo periodo di rivoluzione supponendo invariato il semiasse maggiore?

Soluzione

Scriviamo la III Legge di Keplero con i parametri attuali **a** e **T** dell'orbita terrestre e massa $\boldsymbol{M_\odot}$ e $\boldsymbol{M_T}$ del Sole e della Terra:

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{G\,(M_\odot + M_T)}{4\,\pi^2} \simeq \frac{G\,M_\odot}{4\,\pi^2}$$

Raddoppiando la massa del Sole e detto $\mathbf{T_1}$ il nuovo periodo di rivoluzione della Terra si ha:

$$\frac{a^3}{{T_1}^2} = \frac{G\,(2\,M_\odot + M_T)}{4\,\pi^2} \simeq \frac{2\,G\,M_\odot}{4\,\pi^2} = \frac{G\,M_\odot}{2\,\pi^2}$$

Dividendo membro a membro queste due relazioni si ottiene il nuovo periodo di rivoluzione della Terra:

$$\frac{T_1^2}{T^2} = \frac{1}{2} = 0.5 \qquad \text{da cui:} \qquad T_1 = T\,\sqrt{0.5} \simeq 0.7071\ anni \simeq 258.3\ g$$

Ovviamente si può arrivare alla soluzione calcolando direttamente il nuovo periodo di rivoluzione:

$$T_1 = \sqrt{\frac{4\,\pi^2\,a^3}{G\,2\,M_\odot}} \simeq \sqrt{\frac{39.48\ \cdot 3.348\ \cdot\ 10^{33}\ m^3}{6.674\ \cdot\ 10^{-11}\,\frac{m^3}{kg\ s^2} \cdot 2\ \cdot 1.989\ \cdot\ 10^{30}\ \mathrm{kg}}} \simeq 2.231\ \cdot\ 10^7\ \mathrm{s}\ \simeq 258.3\ \mathrm{g}$$

Raddoppiando la massa di Mercurio il suo periodo di rivoluzione resta invariato, in quanto avremmo:

$$\frac{{a_{Mercurio}}^3}{{T_{1Mercurio}}^2} = \frac{G\,(M_\odot + 2\,M_{Mercurio})}{4\,\pi^2} \simeq \frac{G\,M_\odot}{4\,\pi^2}$$

Problema 28

A quale distanza dalla superficie della Terra un uomo con massa di 80.0 kg ha un peso $P = 600\ N$?

Soluzione

Detta **g** l'accelerazione di gravità, il peso **P** è dato dalla relazione: $P = m\ g$

Detta **r** la distanza dal centro della Terra, per avere $P = 600$ N occorre che l'accelerazione di gravità $\mathbf{g_r}$ sia:

$$g_r = \frac{P}{m} = \frac{600\ \frac{kg\ m}{s^2}}{80.0\ \mathrm{kg}} = 7.50\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

Detta **h** l'altezza sulla superficie e **R** e $\mathbf{M_T}$ raggio e massa della Terra, si ha: $r = h + R$ e quindi:

$$g_r = \frac{G\ M_T}{r^2} = \frac{G\ M_{Terra}}{(R+h)^2}$$

Risolvendo rispetto ad **h** si ha:

$$(R+h)^2 = \frac{G\ M_{Terra}}{g_r} \qquad \text{da cui: } R + h = \sqrt{\frac{G\ M_{Terra}}{g_r}} \qquad \text{e infine: } h = \sqrt{\frac{G\ M_{Terra}}{g_r}} - R$$

$$h = \sqrt{\frac{G\ \ M_{Terra}}{g_r}} - R \simeq \sqrt{\frac{6.674 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg\ s^2} \cdot 5.972 \cdot 10^{24}\ kg}{7.50\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}} - 6378 \cdot 10^3\ km \simeq 912 \cdot 10^3\ m \simeq 912\ km$$

Nota:

Sulla superficie della Terra una massa di 80.0 kg ha un peso di 784 N.

Problema 29

Sulla Terra, quanto dovrebbe durare un giorno siderale (in hh:mm:ss) affinché un corpo posto all'equatore risulti privo di peso?

Soluzione

Affinché in un sistema di riferimento solidale con la Terra un corpo risulti privo di peso, la somma dell'accelerazione di gravità $\mathbf{a_g}$ e di quella centrifuga $\mathbf{a_c}$ deve essere pari a zero. All'equatore le due accelerazioni hanno stessa direzione, ma verso opposto.

Si avrà equilibrio quando: $\mathbf{a_c} = -\mathbf{a_g}$.

Quindi, dette **v** la velocità tangenziale, $\mathbf{M_T}$ e $\mathbf{R_T}$ massa e raggio della Terra, **m** la massa del corpo e considerando il modulo dei vettori deve essere:

$$m\,\frac{v^2}{R_T} = \frac{G \cdot M_T \cdot m}{R_T^2}$$

E poiché, detto **T** il periodo di rotazione, si ha: $\mathrm{v} = \frac{2\,\pi\,\mathrm{R_T}}{\mathrm{T}}$, avremo:

$$\frac{4\,\pi^2 {R_T}^2}{T^2 R_T} = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2}$$

possiamo ricavare la durata che dovrebbe avere il giorno:

$$T = \sqrt{\frac{4\,\pi^2 \cdot R_T^3}{G \cdot M_T}} \simeq \sqrt{\frac{39.48 \cdot 2.594 \cdot 10^{20}\ m^3}{6.674 \cdot 10^{-11}\,\frac{m^3}{kg\ s^2} \cdot 5.972 \cdot 10^{24}\ kg}} \simeq 5069\ s \ \simeq 1h\ 24m\ 29s$$

Problema 30

La Stazione Spaziale Internazionale (ISS) orbita intorno alla Terra su un orbita circolare a un'altezza h = 412 km. Calcolate il valore dell'accelerazione di gravità della Terra a quell'altezza. Perché vediamo gli astronauti a bordo della IIS "fluttuare" come se l'accelerazione di gravità fosse circa zero?

Soluzione

Detta **M** la massa della Terra ed **R** il suo raggio, il valore dell'accelerazione di gravità a un'altezza dalla superficie **h** è dato dalla relazione:

$$g_h = \frac{G \cdot M}{(R+h)^2}$$

In particolare per h = 412 km avremo:

$$g_{h-412} \simeq \frac{6.674 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg\, s^2} \cdot 5.972 \cdot 10^{24}\, kg}{(6378 \cdot 10^3\, m + 412 \cdot 10^3\, m)^2} \simeq 8.65\, \frac{m}{s^2}$$

Questo valore è solo di circa il 12% minore dell'accelerazione di gravità al suolo. L'apparente assenza di gravità deriva dal fatto che la ISS è in orbita intorno alla Terra e quindi la forza di gravità è bilanciata dalla forza centrifuga.

Problema 31

Calcolate il minimo periodo di rivoluzione di un corpo di piccola massa che si muove su un'orbita circolare attorno a una nana bianca (WD) che ha raggio pari a quello della Terra. A che frazione della velocità della luce si muove il corpo? Nota: nella soluzione si tenga conto che il massimo valore possibile per la massa di una WD è pari a 1.44 volte quella del Sole.

Soluzione

Il periodo di rivoluzione **T** di un corpo di massa trascurabile in orbita ad una distanza **a** intorno a una stella di massa **M** vale:

$$T = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot a^3}{G \cdot M}}$$

Il valore minimo del periodo T_{MIN} si ha quando il raggio dell'orbita è minimo (poiché si trova al numeratore), e quando la massa della nana bianca è massima (poiché si trova al denominatore). Il raggio minimo dell'orbita è pari al raggio della nana bianca: **a** = $R_{WD} = R_{TERRA}$, mentre dalla teoria dell'evoluzione stellare (vedi nota nel testo) sappiamo essere: $M_{WD\ (max)} = 1.44\ M_{\odot}$. Avremo quindi:

$$T_{MIN} \simeq \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2.595 \cdot 10^{20}\ m^3}{6.674 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg\ s^2} \cdot 1.44 \cdot 1.989 \cdot 10^{30}\ kg}} \simeq 7.32\ s$$

La lunghezza **C** dell'orbita del corpo è: $C = 2\ \pi\ R_{Terra} \simeq 40074$ km, la sua velocità vale quindi:

$$v = \frac{C}{T} \simeq \frac{40074\ \text{km}}{7.32\ \text{s}} \simeq 5.47 \cdot 10^3\ \frac{\text{km}}{\text{s}} \simeq 0.0183\ c = 1.83 \cdot 10^{-2}\ c$$