La formazione di quasi tutti i sistemi satellitari e doppi, con ogni probabilità, è avvenuta, con il meccanismo che abbiamo indicato, durante l'esplosione della stella originariamente accoppiata al Sole.

2 – Nettuno : sono noti :

massa : $m_N = \mathbf{102,45 \cdot 10^{24}}\ K_g$

semiasse maggiore : $R_N = \mathbf{4496,6 \cdot 10^6}\ K_m$

Se consideriamo, in prima approssimazione, l'asse di rotazione del pianeta parallelo a quello solare, si ricava il punto neutro :

$$R_{NNS0} = \frac{R_N}{1 + \left(\dfrac{m_S}{m_N}\right)^{\frac{1}{2}}} = \frac{\mathbf{4496,6 \cdot 10^6}\ K_m}{\mathbf{1} + \left(\frac{1,9891 \cdot 10^{30}}{102,45 \cdot 10^{24}}\right)^{\frac{1}{2}}} = \mathbf{32041013}\ K_m$$

il piano equatoriale del pianeta è, in realtà, sfasato rispetto a quello solare di un angolo :

$$\alpha_{NS} = 28,7° - 7,25° + 1,774° = \mathbf{23,224}°$$

Sul piano equatoriale si può dunque considerare un adattamento :

$$R_{NNS} \simeq R_{NNS0} \cdot \cos\alpha_{NS} = \mathbf{29420000}\ K_m$$

Per il satellite Tritone sono noti i dati :

$$R_T = \mathbf{354760}\ K_m \ \ ; \ \ \alpha_{TN} = \mathbf{157}° \ \ ; \ m_T = \mathbf{0,000209} \cdot m_N$$

lo sfasamento tra l' asse di Tritone e quello solare vale :

$$\alpha_{TS} \simeq 157° + 23,224° \ \simeq \mathbf{180}°.$$

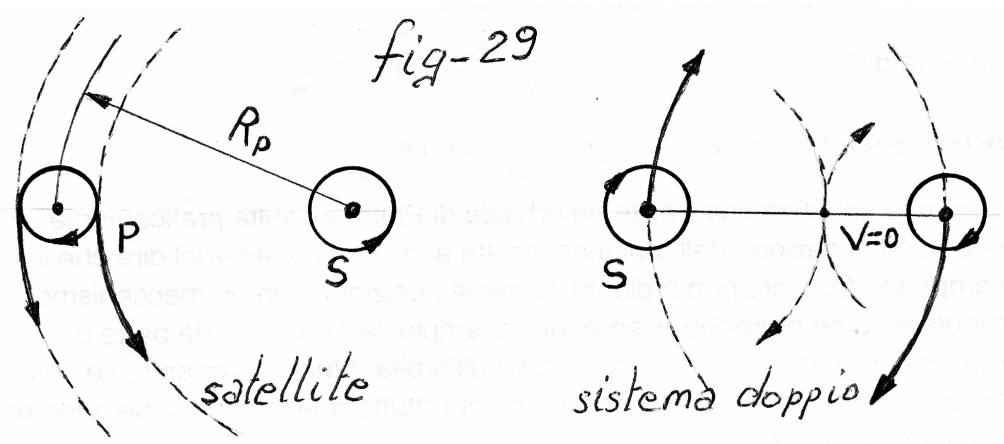
utilizzando il valore stimato della massa, il suo punto neutro rispetto al Sole,

in prima approssimazione, risulta :

$$R_{NTS} = \frac{\mathbf{4496,6 \cdot 10^6}\ K_m}{1 + \left(\frac{1,9891 \cdot 10^{30}}{2,141 \cdot 10^{22}}\right)^{\frac{1}{2}}} = \mathbf{466356}\ K_m$$

Essendo $R_T < R_{NNS}$; R_{NTS} , Tritone e Nettuno, nell' attuale posizione , formano un sistema doppio e quindi Tritone " non è un satellite di Nettuno ".

Una prova di questa situazione è "**la sua rotazione retrograda**", così come accadeva per Caronte e per qualsiasi altro sistema doppio, secondo quanto viene illustrato in figura 29.



Sappiamo che, per avere un sistema doppio, dovrà essere :

$$\frac{n_N^2}{n_T^2} = \frac{R_{NNS}}{R_{NTS}} = \frac{32041013}{466356} = \mathbf{68,7}$$

tenendo conto che i dati utilizzati sono approssimati, possiamo certamente

assumere $\frac{n_N}{n_T} = 8.$

326

i rapporti tra numeri quantici più prossimi sono :

$$8\,/\,1 \quad ; \quad \left(8 \cdot \sqrt{\tfrac{4}{3}} \,/\, \sqrt{\tfrac{4}{3}}\right) \quad ; \quad \left(8 \cdot \sqrt{2} \,/\, \sqrt{2}\right) \quad ; \quad \text{ecc.}$$

Assumendo il secondo rapporto, dovrà dunque essere :

$$R_{NNS0} = R_T^* \cdot n_N^2 = R_T^* \cdot \left(8 \cdot \sqrt{\frac{4}{3}}\right)^2$$

$$R_{NTS} = R_T^* \cdot n_T^2 = R_T^* \cdot \left(\sqrt{\frac{4}{3}}\right)^2$$

Essendo nota con maggior precisione la massa di Nettuno, utilizziamo la prima relazione per ricavare il valore che deve aver assunto la distanza tra le due masse nel momento in cui il sistema doppio si è formato :

$$R_T^* = \frac{R_{NNS0}}{\left(8 \cdot \sqrt{\frac{4}{3}}\right)^2} = \mathbf{375481}\ K_m$$

Se consideriamo tale valore coincidente con il raggio dell'orbita circolare stabile dello spazio rotante di Tritone associata al numero quantico $n = \sqrt{\frac{4}{3}}$, il punto neutro corretto del satellite Tritone risulta :

$$R_{NTS}^* = R_T^* \cdot \left(\sqrt{\frac{4}{3}}\right)^2 = \mathbf{500641}\ K_m$$

si ricava così il valore corretto della massa :

$$m_T^* = \frac{m_S}{\left[\dfrac{R_N}{R_{NTS}^*} - 1\right]^2} = \mathbf{2{,}46625 \cdot 10^{22}}\ K_g$$

Essendo la distanza attuale di tritone $R_T = 374760\ K_m$ **minore di quella iniziale, possiamo pensare che esso si stia avvicinando gradualmente a Nettuno, percorrendo una spirale, e che quindi oggi non si trovi su un'orbita stabile.**

Quando, nella sua corsa verso il Sole, Nettuno "cadrà" sull'orbita successiva, associata a $\left(1\ \sqrt{\frac{4}{3}}\ \sqrt{\frac{4}{3}}\right)$, il punto neutro di Tritone assumerà il valore :

$$R^{**}_{NTS} = \frac{R^{*}_{NTS}}{\left(\sqrt{\frac{4}{3}}\right)^2} = \frac{459687\ K_m}{\frac{4}{3}} = 375481\ K_m > 354760\ K_m$$

In queste condizioni, la coppia costituirà ancora un sistema doppio e solo dopo il passaggio di Nettuno sull'orbita successiva risulterà $R^{***}_{NTS} < R_T$ **e Tritone passerà così ad orbitare attorno a Nettuno come satellite, con verso di rotazione normale.**

Calcoliamo ora le caratteristiche dello schema orbitale, trascurando la massa di Tritone rispetto a quella di Nettuno.

$$K^2_N = \beta \cdot m_N = 6,836068 \cdot 10^6\ \frac{K^3_m}{sec^2}$$

assumendo :

$$R_1 = 29420000\ K_m$$

si ricava :

$$T_1 = \left[\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R^3_1}{K^2_N}\right]^{\frac{1}{2}} = 4438,4\ g$$

$$V_1 = \left(\frac{K^2_N}{R_1}\right)^{\frac{1}{2}} = 0,482\ \frac{K_m}{sec}$$

le orbite stabili vengono dunque descritte dalle relazioni :

$$R_n = \frac{\mathbf{29{,}42 \cdot 10^6}\ K_m}{\mathbf{n^2\ m^2\ q^2}} \quad ; \quad T_n = \frac{\mathbf{4438{,}4}\ g}{\mathbf{n^3\ m^3\ q^3}}$$

$$V_n = \mathbf{0{,}482}\ \frac{K_m}{sec} \cdot n\ m\ q$$

Per le orbite eccentriche le carateristiche dell'orbita stabile si calcolano con le relazioni :

$$R_n = R \cdot \left(1 - e^2\right) \ ; \ T_n = T \cdot \left(1 - e^2\right)^{\frac{3}{2}} \ ; \ V_n = V \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - e^2}}$$

Le correzioni risultano significative solo per orbite molto eccentriche.

Nel caso di Nettuno, eseguiamo il calcolo solo per il satellite **Nereide**, per il quale risulta :

$$R_n = 5513400\ K_m \cdot (1 - 0{,}75^2) = \mathbf{2412113}\ K_m$$

Dello schema orbitale completo si può dare la seguente rappresentazione .

29420000 7355000 3268889 1838750 1176800 817222 600408•459687

↓ ↓ ↓ ↑ ↓ ↑ ↓ ↑ ↓ ↑

22065000 14710000 ↑ (5516250) 3677500 2451667 1379062 882600 612917•

↓ ↑ ↓ ↓ ↑

16548750 11032500 4137187

•(363210) •294200•243140•204305•174082•150102•130755•(114922) •101799•90802•81496•

•(73550) •66712•(60785) •55614•(51076) • (47072) •43521•40357

| | | | | |

63748 53345 41939 (anelli)

Dallo schema risulta che attualmente il satellite Tritone si sta spostando dalla orbita $n = 21$ alla $n = 22$.

Un'altra osservazione significativa su questo sistema planetario riguarda il satellite **Proteo**, che orbita ad una distanza $R_{Pr} = \mathbf{117600}\ K_m$.

La sua massa può essere calcolata, molto grossolanamente, ipotizzando una densità $\delta = \mathbf{2}\ \frac{g}{cm^3}$. Si ricava così : $m_{Pr} = \mathbf{1,82 \cdot 10^{19}}\ K_g$.

Il suo punto neutro rispetto allo spazio rotante di Nettuno vale :

$$R_{NPrN} = \frac{R_{Pr}}{\mathbf{1} + \left(\frac{\mathbf{m_N}}{\mathbf{m_{Pr}}} \right)^{\frac{1}{2}}} = \mathbf{49,6}\ K_m$$

essendo $R_{NPrN} < r_{Pr} \simeq \mathbf{200}\ K_m$, **se ne deduce che questo satellite deve perdere continuamente massa dalla superficie rivolta a Nettuno. per essere stabile**, **Proteo dovrebbe orbitare ad una distanza** :

$$R \geq \left[\frac{\delta_N}{\delta_{Pr}} \cdot \frac{r_N^3}{r_{Pr}} \right]^{\frac{1}{2}} = \mathbf{246200}\ K_m$$

Il raggio della sfera rotante che sostiene il moto di rivoluzione di Nettuno vale

$$r_{N0} = \left(\frac{m_N}{m_S} \right) \cdot R_N = \left(\frac{102,45 \cdot 10^{24}}{1,9891 \cdot 10^{30}} \right) \cdot 4496,6 \cdot 10^6\ K_m = \mathbf{231600}\ K_m$$

Essendo $r_{N0} > r_N = \mathbf{24764}\ K_m$, il pianeta non presenta alcun nucleo rotante interno e rivoluisce direttamente nello spazio rotante solare.

Il satellite Tritone nel moto di rivoluzione è sostenuto da una sfera rotante di

raggio :

$$r_{T0} = \left(\frac{m_T}{m_N} \right) \cdot R_T = \left(\frac{2,079 \cdot 10^{22}}{102,45 \cdot 10^{24}} \right) \cdot 354760\ K_m = \mathbf{72}\ K_m < \mathbf{1353}\ K_m$$

330

esso presenta dunque un nucleo interno rotante su se stesso con una velocità periferica :

$$v_T = V_{nT} = \left(\frac{K_N^2}{R_T} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{6{,}836068 \cdot 10^6 \ \frac{K_m^3}{sec^2}}{354760\ K_m} \right)^{\frac{1}{2}} = \mathbf{4{,}39}\ \frac{K_m}{sec}$$

Pur essendo il nucleo di dimensioni ridotte e rotante con una bassa velocità, l'energia termica che esso sviluppa per attrito, all' interno del satellite, potrà essere sufficiente per produrre modesti fenomeni vulcanici in superficie, facilitati anche dalla bassa temperatura di fusione dei materiali costituenti il satellite.

Le altre caratteristiche di Nettuno risultano :

velocità di fuga dalla sua superficie : $V_{fN} = \sqrt{\frac{2 \cdot K_N^2}{r_N}} = \mathbf{23{,}56}\ \frac{K_m}{sec}$

accelerazione di gravità al suolo : $g_N = \frac{K_N^2}{r_N^2} = \mathbf{11{,}2}\ \frac{m}{sec^2}$

3 – Urano : sono note le caratteristiche :

$$m_U = \mathbf{86{,}84 \cdot 10^{24}}\ K_g \quad ; \quad K_U^2 = \beta \cdot m_U = \mathbf{5{,}794477 \cdot 10^6}\ \frac{K_m^3}{sec^2}$$

il punto neutro rispetto al Sole vale :

$$R_{NUS}^* = \frac{R_U}{1 + \left(\frac{m_S}{m_U} \right)^{\frac{1}{2}}} = \frac{2869{,}6 \cdot 10^6\ K_m}{1 + \left(\frac{1{,}9891 \cdot 10^{30}}{86{,}84 \cdot 10^{24}} \right)^{\frac{1}{2}}} = \mathbf{18838806}\ K_m$$

Lo sfasamento tra il suo asse di rotazione e quello solare vale :

$$\alpha_{US} = 97{,}92° - 7{,}25° + 0{,}772° = \mathbf{91{,}442°}$$