



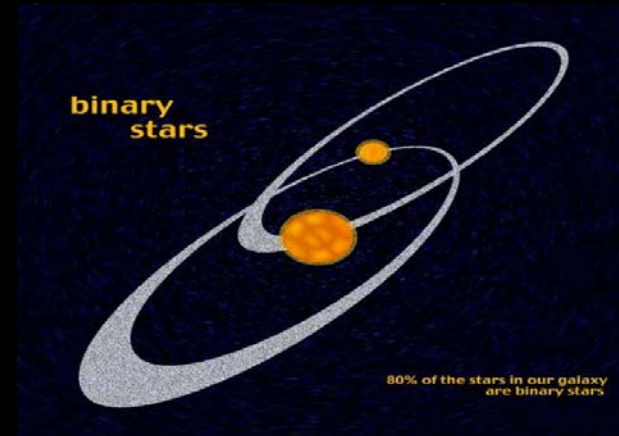
ივანე ჯავახიშვილის სახელობის
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი

მასის მიმოცვლა და მდგრადობა მჭიდრო ორჯერადი
ვარსკვლავების სისტემებში

ნიკოლოზ მაჭავარიანი

საბაკალავრო პროგრამა „ფიზიკა“
ასტროფიზიკის კათედრა
ხელმძღვანელი: ალექსანდრე თევზაძე

რა არის ორჯერადი სისტემა ?



საერთო მასათა ცენტრის ირგვლივ,
ჩაკეტილ ორბიტებზე მბრუნავი
გრავიტაციული მიზიდულობით
დაკავშირებული ორი ვარსკვლავისაგან
შემდგარი სისტემა

მჭიდრო ორჯერადი ვარსკვლავები

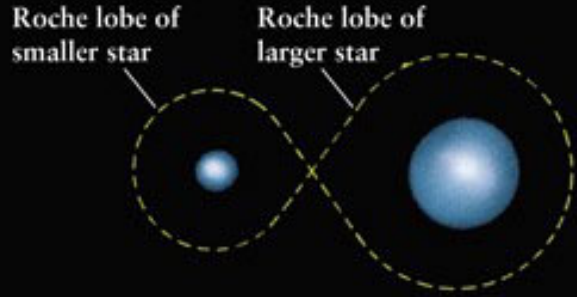
ორჯერადი ვარსკვლავების სისტემა,
სადაც ვარსკვლავებს შორის დაშორება
შესადარია ობიექტების რადიუსთან



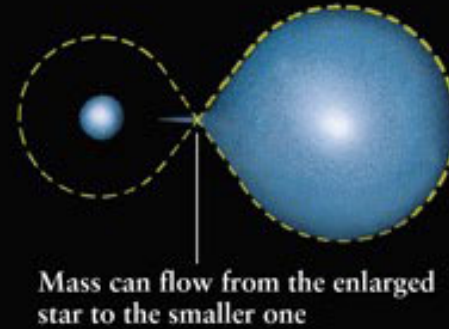
0.016



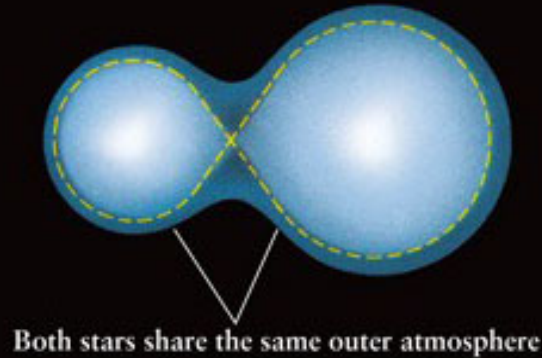
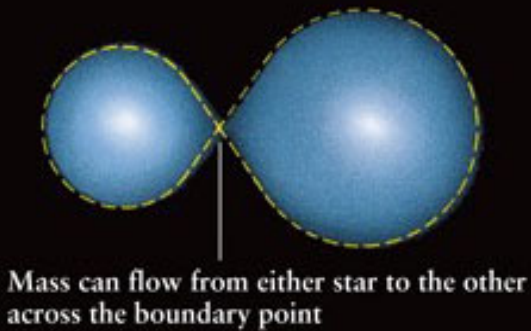
ორჯერადი ვარსკვლავების ტიპები



იზოლირებულები



ურთიერთქმედი



კონტაქტური (overcontact) საერთო ჰალო

ორჯერადი სისტემების კინემატიკა

$$m_1, m_2 = \text{const}$$

$$L = \frac{m_1 \dot{\vec{r}}_1}{2} + \frac{m_2 \dot{\vec{r}}_2}{2} - U(s)$$



$$\begin{cases} m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 = (m_1 + m_2) \vec{R} \\ \vec{r}_1 - \vec{r}_2 = \vec{s} \end{cases}$$

სისტემის ლაგრანჟიანი დაყვანილ ცვლადებში

$$\begin{cases} \dot{\vec{r}}_1 = \dot{\vec{R}} + \frac{m_2}{m_1 + m_2} \dot{\vec{s}} \\ \dot{\vec{r}}_2 = \dot{\vec{R}} - \frac{m_1}{m_1 + m_2} \dot{\vec{s}} \end{cases}$$

$$m_1 + m_2 \equiv M$$

$$\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} = \mu$$

$$L_0 = \frac{M}{2} \dot{\vec{R}}^2 + \frac{\mu}{2} \dot{\vec{s}}^2 - U(s)$$

ორჯერადი სისტემის დინამიკა



მასის მიმოცვლა; აკრეცია

$$m_1 + m_2 = \text{const}$$

$$dm_1 = -dm_2 \neq 0$$

$$\begin{cases} \dot{\vec{r}}_1 = \dot{\vec{R}} + \frac{m_2}{m_1 + m_2} \dot{\vec{s}} + \frac{1}{m_1 + m_2} \frac{dm_2}{dt} \vec{s} \\ \dot{\vec{r}}_2 = \dot{\vec{R}} - \frac{m_1}{m_1 + m_2} \dot{\vec{s}} + \frac{1}{m_1 + m_2} \frac{dm_1}{dt} \vec{s} \end{cases}$$

აკრეციის ლაგრანჟიანი დაყვანილ ცვლადებში

$$q \equiv \frac{m_2}{m_1}$$

$$L = \textcolor{red}{L}_0 + \frac{M}{2} \left(\frac{\dot{q}^2}{(1+q)^4} \dot{\vec{s}}^2 + \frac{2\dot{q}}{(1+q)^2} \dot{\vec{R}} \cdot \vec{s} \right)$$

ლაგრანჟის განტოლება

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\vec{R}}} - \frac{\partial L}{\partial \vec{R}} = 0$$

საბოლოო ლაგრანჟიანი

$$L = \frac{\mu(t, s)}{2} \dot{s}^2 - U(s) + s^2$$

$$L = \frac{\mu(t, s)}{2} \dot{s}^2 - U(s)$$

პოლარულ კოორდინატებში

$$L = \frac{\mu(t, s)}{2} (\dot{s}^2 - s^2 \dot{\phi}^2) - U(s)$$

დინამიკა

1. $\mu(t, s) = \mu(s)$

ვღებულობთ

$$t = \int \frac{ds}{\sqrt{\frac{2}{\mu(s)} \left[E - \frac{J^2}{2\mu(s)s^2} - U(s) \right]}}$$

$$2. \, q(t, s) = q(t), \, \mu(t, s) = \mu(t)$$

$$\ddot{s} + \dot{s} \frac{\dot{\mu}}{\mu(t)} - \frac{J^2}{\mu^2(t) s^3} + G \frac{M}{s^2} = 0$$

$$\ddot{s} + \dot{s} \dot{q} \left(\frac{1}{q} - \frac{2}{1+q} \right) - \frac{J^2 (1+q)^2}{M^2 q^2(t) s^3} + G \frac{M}{s^2} = 0$$

განვიხილოთ,თუ რა მოხდება,თუ ორბიტა
მცირედ გადაიხრება წრიულისგან

$$s = s_0 + s_1(t), \quad s_0 = \text{const}, \quad s_1(t) \ll s_0$$

$$\ddot{\bar{s}}_1 + \bar{s}_1(t) \left[-\frac{1}{2} \mu^{-1} \ddot{\mu} + \frac{1}{4} \mu^{-2} \dot{\mu}^2 + \frac{(GM)^4}{J^6} \frac{\mu_0^8}{\mu^2} \right] = 0$$

ორბიტების მდგრადობის საკითხი

$$\frac{\ddot{\mu}}{\mu} < \frac{1}{2} \left(\frac{\dot{\mu}}{\mu} \right)^2 \dot{\mu}^2 + \frac{(GM)^4}{J^6} \frac{\mu_0^8}{\mu^2}$$

დავუშვათ, რომ აკრეციის ტემპი ნელია

$$\frac{\ddot{\mu}}{\mu} \ll 1 \quad \text{და ვიცით რომ} \quad \dot{\mu} \approx M \frac{1-q}{(1+q)^2} \ddot{q}$$

შემოგვავს

$$C_0 \equiv \frac{G^3 M}{J^6}$$

ვღებულობთ

$$\ddot{q} < C_0 \frac{(1+q)^6}{(1-q)q^2}$$

როშის სიღრუვე, სფერო

$$R_{L,m_2} = \frac{0,49q^{2/3}}{0,6q^{2/3} + \ln\left(1 + q^{1/3}\right)} s$$

$$dR_{L,m_2} = -\alpha dq \quad \frac{dq}{ds} = - \frac{\frac{\partial}{\partial s} R_{L,m_2}}{\frac{\partial}{\partial q} R_{L,m} + \alpha}$$

$$\frac{d\mu}{ds} = -M \frac{1-q}{(1+q)^3} \frac{dq}{ds} = -M \frac{1-q}{(1+q)^3} \frac{\left(R_{L,m_2}\right)'_s}{\left(R_{L,m_2}\right)'_q + \alpha} (*)$$

$$\left(R_{L,m_2}\right)'_s = \frac{0,49q^{2/3}}{0,6q^{2/3} + \ln\left(1+q^{1/3}\right)} (**)$$

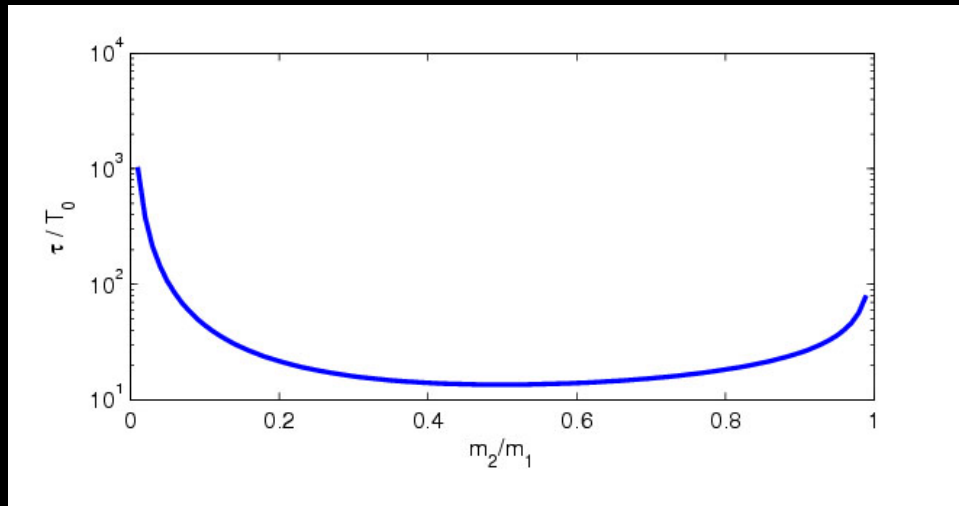
$$\left(R_{L,m_2}\right)'_q = \frac{0,49 \cdot (2/3) q^{-1/3}}{0,6q^{2/3} + \ln\left(1+q^{1/3}\right)} s - \frac{0,49 \cdot \left[0,6 \cdot (2/3) q^{1/3} + \frac{1/3}{1+q^{1/3}}\right]}{\left[0,6q^{2/3} + \ln\left(1+q^{1/3}\right)\right]^2} s (***)$$

$\tau_{\min}$

აკრეციის მახასიათებელი

T_0

სისტემის ბრუნვის პერიოდი



მდგრადობისთვის: $\tau > \tau_{\min}$

სისტემის სიცოცხლის ხანგრძლივობა მაქსიმალურია როდესაც:

1. $m_2/m_1 \sim 1$
2. $M_2/m_1 \ll 1$

- დასკვნა

შესწავლილია ორჯერადი ვარსკვლავების სისტემების
კინემატიკა, დინამიკა

თუ აკრეციის ტემპი დამოკიდებულია მხოლოდ
ვარსკვლავებს შორის მანძილზე, ინახება განზოგადებული
ენერგია

თუკი ვარსკვლავებს შორის მანძილის ცვლილება
უმნიშვნელოა, შესაძლებელია გამოვიყენოთ აკრეციის
ტემპის დროზე დამოკიდებულების მოდელი და
ვღებულობთ მდგრად და არამდგრად ამონახსნს

გმადლობთ ყურადღებისათვის