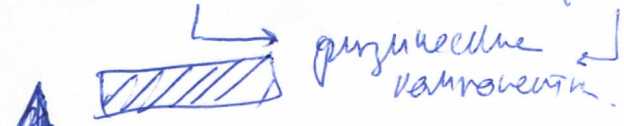


Уравнение движения в кинематическом состоянии деформации ①

Ускорение:

$$\begin{aligned}\ddot{\vec{z}} &= \frac{d^2}{dt^2} (2\vec{e}_2) = \frac{d}{dt} (2\dot{\vec{e}}_2 + 2\dot{\vec{e}}_2) = \left(\text{ан. вычисления о ун. с.к.} \right) / 2 \\ &= \frac{d}{dt} (2\dot{\vec{e}}_2 + \dot{\varphi} 2\vec{e}_\varphi) = \ddot{2}\vec{e}_2 + 2\ddot{\varphi}\vec{e}_\varphi + \dot{\varphi} 2\dot{\vec{e}}_\varphi + \dot{\varphi} 2\vec{e}_\varphi + \ddot{\varphi} 2\vec{e}_\varphi \\ &= \ddot{2}\vec{e}_2 + 2\ddot{\varphi}\vec{e}_\varphi - 2\vec{e}_2\dot{\varphi}^2 + \dot{\varphi} 2\dot{\vec{e}}_\varphi = \\ &= (\ddot{2} - 2\dot{\varphi}^2)\vec{e}_2 + (2\ddot{\varphi} + \dot{\varphi} 2)\vec{e}_\varphi.\end{aligned}$$



Учитывая:

- 0) Пузырьковые датчики см. в стандартном граве где результат 1.
- 1) Датчик MRI где результат 1.
 - 2) Датчик гравиметрических датчиков где результат 3.

$$U = (j-1)P$$

$$\Delta t \sim \frac{U}{c}$$

$$C_s^2 = \frac{j k T}{\mu m_H}$$

$$L = \sigma T^4 = \sigma \left(\frac{\mu m_H}{j k} \right)^4 C_s^8 = \sigma \left(\frac{\mu m_H}{j k} \right)^4 (h \Omega)^8$$

~~Adiabatic~~

$$C_s^2 j \frac{P}{\rho} \rightarrow P^2 \left(\frac{P}{\rho} \right)^2 \propto C_s^2$$

$$U = \frac{(j-1)}{j} \propto C_s^2$$

$$\Delta t \sim \frac{(j-1)}{j} \propto$$

$$\frac{\sigma \left(\frac{\mu m_H}{j k} \right)^4 (h \Omega)^8}{\sigma \left(\frac{\mu m_H}{j k} \right)^4 (h \Omega)^6} = \frac{(j-1) j^3 k^4}{\sigma (\mu m_H)^4} \frac{\Sigma}{4 \Omega^6} \left(10^{-5} \right)^{-1} \left(\frac{10^{-16}}{10^{-24}} \right)^4 \left(\frac{10^3}{3 \cdot 10^8} \right)^6 \frac{32}{10^5} \frac{10^3}{10^3} \frac{10^{-4}}{10^3} = 10^5$$

Очень важно
время оседания вещества
на диск в отсутствие
и шара разогрева

Зоряча!

Газово!

$$\Delta t \sim \delta^{-6}$$

$$\mu = 2.5 \text{ gr } H_2$$

$$k = 1.38 \cdot 10^{-16}$$

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-5}$$

$$m_H = 1.67 \cdot 10^{-24}$$

$$G = 6.5 \cdot 10^{-8}$$

$$\gamma(H_2) = 7/5$$

$$R_0^2 \sim \nu t \sim \nu_0 \left(\frac{R_0}{\nu_0} \right)^\beta t$$

$$R_0^{2-\beta} \sim \nu_0 t$$

$$R_0 \sim (\nu_0 t)^{\frac{1}{2-\beta}}$$

Зоря

Истационарные амплитуды:
амплитудные транзиты
автогенное решение
(~~расширение~~ решение к (R_0))

Массы и радиусы планет:

$$1 \oplus = 2 \cdot 10^{33} \text{ г} \rightarrow \text{Сатурн } 10^{-3} M_\oplus \rightarrow \text{Земля } 1/300 M_J \approx 6 \cdot 10^{27} \text{ г}$$

$$2 \oplus = 7 \cdot 10^{30} \text{ г} \rightarrow \text{Сатурн } 0.1 R_\oplus \rightarrow \text{Земля } 0.01 R_\oplus$$

$$a_{Jup} = 0.3; a_{Sat} = 0.2; a_\oplus = 1; a_{Mars} = 1.5; a_J = 5; a_{Sat} = 10; a_{Uran} = 20; a_{Nept} = 30.$$

100 M $\oplus$ 15 M $\oplus$ 17 M $\oplus$

К огенке момента импульса
CDMA.

$$2A = -2\Omega'$$

$$B = -\Omega + A$$

$$2\Omega' + \Omega = -2A + A - B = -(A+B) = 2.5 \frac{\text{km}}{\text{s}} \text{ kpc}^{-1}$$

$$G = 0.2 \text{ Mpc} \quad M = 1 M_{\odot} \quad \Omega = \Omega_c$$

$$M G^2 \Omega_c \sim \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 10^{33}}{7} \cdot (3 \cdot 10^{18} \cdot \frac{1}{5})^2 \cdot \frac{2.5 \cdot 10^5}{10^3 \cdot 3 \cdot 10^{18} \cdot 5} \approx$$

$$2 \cdot 10^{30} \cdot 10^{23} \cdot 0.3 = 6 \cdot 10^{52} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \quad \left[J_{\text{gal}} \sim 2 \cdot 10^{50} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \right]$$

$$E_{\text{gal}} \sim \frac{GM^2}{R} \approx \frac{6.6 \cdot 10^{-8} \cdot 4 \cdot 10^{66}}{3 \cdot 10^{18} \cdot \frac{1}{5}} \approx 4 \cdot 10 \cdot 10^{-26} \cdot 10^{66} = 4 \cdot 10^{41}$$

$$E_A \approx \frac{1}{2} J \Omega_c = 6 \cdot 10^{52} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2.5 \cdot 10^5}{10^3 \cdot 3 \cdot 10^{18}} \approx$$

$$2.5 \cdot 10^{36}; \quad \beta \approx \frac{E_{\text{rel}}}{E_{\text{gal}}} \sim 10^{-5}. \quad \text{Есть } 10^{-2}, \text{ то } J \sim \Omega_c \uparrow 6 \cdot 10^{36} \text{ pps}$$

$$\frac{J}{M} = \left(\frac{GM}{r_{\text{cirk}}} \right)^{1/2} \cdot r_{\text{cirk}} \Rightarrow r_{\text{cirk}} = \frac{J^2}{GM^3} = \frac{(6 \cdot 10^{52})^2}{6.6 \cdot 10^{-8} \cdot (2 \cdot 10^{33})^3} \approx$$

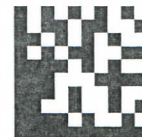
$$\approx \frac{36}{50} \cdot 10^{13} \text{ cm} \approx 0.5 \text{ a.p.}$$

т.е. расстояние $\beta \sim 10^{-2}$, то $E_{\text{rel}} \sim \Omega_c^2$ в 10^3 выше, т.е.

$$\Omega_c \sim \text{в } 30 \text{ выше, т.е. } r_{\text{cirk}} \sim J^2 \sim \Omega_c^2 \sim 1000 \text{ pps}$$

$$\text{т.е. } r_{\text{cirk}} > 100 \text{ a.p.}$$





Пожалуйста, пользуйтесь темно-синей или черной ручкой, не пишите за пределами клеточек и на оборотах листов, не мните листы и не складывайте их пополам.

Получение уравнения на эволюцию Σ .

1) Закон сохранения массы:

$$\frac{\partial}{\partial t} (2\pi R \Sigma) = 2\pi R \Sigma(r) U_2(r) - 2\pi (R+\Delta R) \Sigma(R+\Delta R) U_2(R+\Delta R)$$

$$\Sigma(R+\Delta R) = \Sigma(R) + \Sigma' \Delta R$$

$$U_2(R+\Delta R) = U_2(R) + U_2' \Delta R$$

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial R} (R \Sigma U_2) = 0. \quad (*)$$

2) Аналогично пишем закон сохранения момента импульса:

$$\frac{\partial}{\partial t} (2\pi R_k^2 \Sigma) + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial R} (2\pi R_k^2 \Sigma U_2) = \frac{1}{2\pi R} \frac{\partial G}{\partial R}, \text{ где}$$

G - момент сил, создаваемый между соседними гранями.

$$G = 2\pi R \cdot \Delta \Sigma \cdot 2R_k' \cdot R$$

→ глук/т.д.:

$$\frac{\partial G}{\partial R} = \frac{\partial}{\partial R} (2\pi R^2 \Sigma') = 4\pi R \Sigma'$$

~~Далее:~~

Далее: $\dot{M} \equiv -2\pi R \Sigma U_2$ и $R_k = R_0 R^{-3/2}$ (Кеннар).

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial t} = -\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial R} \frac{\dot{M}}{2\pi} = 0$$

$$R^{3/2} \frac{\partial \Sigma}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial R} \left[R^{1/2} \left(\frac{\dot{M}}{2\pi} - \frac{3}{2} \Delta \Sigma \right) \right] \quad (*)$$





Пожалуйста, пользуйтесь темно-синей или черной ручкой, не пишите за пределами клеточек и на оборотах листов, не мните листы и не складывайте их пополам.

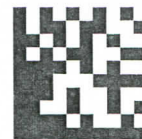
$$2^{\frac{3}{2}} \frac{\partial \xi}{\partial t} - 2^{\frac{1}{2}} \frac{\partial}{\partial z} \frac{\dot{A}}{w} - \frac{1}{2^{\frac{1}{2}} z} \frac{\dot{A}}{w} + \frac{3}{2} \frac{\partial}{\partial z} (2^{\frac{1}{2}} \partial \xi) = 0$$

$$\frac{\dot{A}}{w} - 3 \cdot 2^{\frac{1}{2}} \frac{\partial}{\partial z} (2^{\frac{1}{2}} \partial \xi) = 0.$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = \frac{3}{2} \frac{\partial}{\partial z} \left[2^{\frac{1}{2}} \frac{\partial}{\partial z} (\partial \xi \cdot 2^{\frac{1}{2}}) \right] \quad (**)$$

Gylden-Bell & Pringle
(1974)





Пожалуйста, пользуйтесь темно-синей или черной ручкой, не пишите за пределами клеточек и на оборотах листов, не мните листы и не складывайте их пополам.

9

Баланс энергии в стационарном режиме.

Можно использовать закон сохранения энергии:

$$\Omega \frac{\partial G}{\partial \Omega} d\Omega = \left[\frac{\partial}{\partial \Omega} (G \Omega) - G \Omega' \right] d\Omega$$

$$\int_{\Omega_1}^{\Omega_2} (.) d\Omega = \text{равн. член} - \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} G \Omega' d\Omega = \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} D(\Omega) d\Omega$$

$$D(\Omega) = \frac{G \Omega'}{2\pi \Omega} = \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \Omega} (G \Omega^2) = \frac{1}{4} \frac{\partial}{\partial \Omega} (G \Omega^2) \quad (*)$$

$$D(\Omega) = \frac{1}{\Omega} \Omega^{-3/2} = \frac{g}{4} \frac{\partial}{\partial \Omega} \Omega^2$$

Баланс энергии: $2\sigma T_d^4 = \frac{g}{4} \frac{\partial}{\partial \Omega} \Omega^2 \quad (*)$



Градиент энергии.

(*) на листке (5): $\Sigma^0 = 0$.

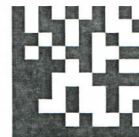
$$\Omega^{1/2} \left(\frac{\dot{M}}{2\pi} - \frac{3}{2} \frac{\partial \Sigma}{\partial \Omega} \right) = \text{const} \Big|_{\Omega=\Omega_{in}} \approx 0 \quad (\text{обвесить, поглотить}).$$

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial \Omega} = \frac{\dot{M}}{3\pi} \quad (**)$$

$$\text{точно: } \times \left(1 - \left(\frac{\Omega_{in}}{\Omega} \right)^{1/2} \right)$$

$$(**) \rightarrow (*) \quad T_d^4 = \frac{3}{8\pi} \frac{GM_*}{\Omega^3} \frac{\dot{M}}{\sigma}$$

взаимосвязь от физ. параметров.
фактор? Связи?



8

Пожалуйста, пользуйтесь темно-синей или черной ручкой, не пишите за пределами клеточек и на оборотах листов, не мните листы и не складывайте их пополам.

Прибавляющее решение
лучшего решения.

$$Q = - \frac{16\sigma T^3}{3\alpha_R} \frac{dT}{dz}$$

$Q = \text{const}$ (все энегия вводится на $z=0$).

$$Q = \sigma T_d^4$$

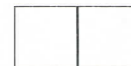
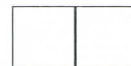
$$- \frac{16\sigma}{3\alpha_R} \int_{T_c}^{T_d} T^3 dT = \sigma T_d^4 \int_0^z \rho(z') dz'$$

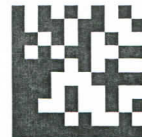
$$- \frac{16}{3\alpha_R} \frac{T^4}{4} \Big|_{T_c}^{T_d} = T_d^4 \Sigma$$

$$T_c^4 > T_d^4 : \frac{4}{3} \frac{T_c^4}{T_d^4} = \frac{\Sigma}{2} \alpha_R = \tau$$

$$\left(\frac{T_c}{T_d} \right)^4 \approx \frac{3}{4} \tau \quad (*)$$

~~XXXXXX~~





9

Пожалуйста, пользуйтесь темно-синей или черной ручкой, не пишите за пределами клеточек и на оборотах листов, не мните листы и не складывайте их пополам.

Гидростатическое равновесие.

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = \Omega^2 z$$

$$\left(\Omega^2 - \nabla_z^2 \phi = - \frac{GM_*}{R^3} z \right)$$

Система $\rho = K r^{\delta}$

$$\frac{dr}{dz} = K^{\frac{1}{\delta}} r^{\delta-1}$$

$$\frac{dH}{dz} = \frac{d\rho}{\rho} = K^{\frac{1}{\delta}} r^{\delta-1}$$

$$H = \frac{K^{\frac{1}{\delta}}}{\delta-1} r^{\delta-1} = \frac{K^{\frac{1}{\delta}}}{\delta-1} \rho$$

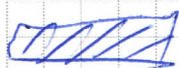
$$\Omega^2 = (\delta-1)H.$$

$$\frac{\partial H}{\partial z} = -\Omega^2 z$$

$$H = \frac{(h\Omega)^2}{2} \left(1 - \frac{z^2}{h^2}\right) \Rightarrow \xi^2/c \sim h\Omega^2 f(\xi) (*)$$

$$\xi^2 = \frac{1}{2} (h\Omega)^2 \left(1 - \frac{z^2}{h^2}\right)$$

уравнение состояния
дает их профиль (?).



$\rho, \rho, \dots$

$$\int \rho dz = \Sigma \text{ отсюда } \rho_{ch} \cdot c \sim \Sigma.$$



для изотермич. случая:

$$\rho = \rho_c e^{-\frac{\xi^2}{2h^2}}, \text{ где } h\Omega = c.$$

$$\rho_c = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\Sigma}{h}.$$

$$\xi^2 = \frac{k_B T}{\mu m_p} \quad (\delta=1)$$





Пожалуйста, пользуйтесь темно-синей или черной ручкой, не пишите за пределами клеточек и на оборотах листов, не мните листы и не складывайте их пополам.

Стационарный стационарный блок. Однозонная апроксимация.

G, P, T_c, α_R берется при $z=0$.

h, Σ, T_d есть $f(z)$

ν, τ - дано, чрез определение.

$\dot{M}, \lambda$ - параметр - останки - константа.

1) $T_d^4 = \frac{3}{8\pi} \frac{GM_* \dot{M}}{2^3 \sigma}$ (Взяв от вращ. энергии).

$T_d \sim z^{3/4}$ универсальный профиль.

2) $\int \sigma T_d^4 \cdot 4\pi z dz = L_d \sim \frac{GM_* \dot{M}}{2^3 \lambda}$ (если с корешком).
не та размерность, апроксимация! Ботаник поправит.

2) $\tau = \frac{1}{2} \Sigma \alpha_0 T_c^2$ (непрозрачность фото-пленки смеси с излучением, до $T \sim 150 K$)

3) $T_c^4 = \frac{3}{8} \Sigma \alpha_0 T_c^2 \cdot \frac{3}{8\pi} \frac{GM_* \dot{M}}{2^3 \sigma}$ (!) $\alpha = 2.4 \cdot 10^{-4}$

4) $\nu = \alpha c_s^2 \Omega^{-1} = \alpha \Omega^{-1} \frac{8kT_c}{\mu m_H}$

5) $\Sigma = \frac{\dot{M}}{3\pi} \frac{\mu m_H \Omega}{\alpha k T_c}$ (!!)

В этой апроксимации
min значение Σ будет, т.е.
 T_c оценки будет завышены!
(все тепло выделяется из
звезды).



Пожалуйста, пользуйтесь темно-синей или черной ручкой, не пишите за пределами клеточек и на оборотах листов, не мните листы и не складывайте их пополам.

10

$$6) T_c^3 = \frac{3}{8} \cdot \frac{3}{80} \frac{1}{30} \frac{\dot{M}^2}{\sigma \text{ кг}} \mu_{\text{HH}} \Omega \alpha_0 \cdot \frac{GM_*}{2^3} =$$

$$= \frac{3}{640^2} \cdot \frac{\mu_{\text{HH}}}{\text{г/с}} \cdot \frac{\alpha_0}{2} \cdot \frac{GM_* \Omega \dot{M}^2}{2^3}; \quad \boxed{T_c \sim 2^{-3/2}}$$

$$7) \Sigma = \frac{\dot{M}}{30} \frac{(640^2)^{1/3}}{3 \dot{M}^{2/3}} \frac{\mu_{\text{HH}}}{2 \text{ кг}} \Omega \left(\frac{\text{кг}}{\mu_{\text{HH}}} \frac{2}{\alpha_0} \right)^{1/3} \cdot \frac{2}{(GM_*)^{1/3} \Omega^{1/3}} =$$

$$= \frac{4}{3^{4/3} 2^{1/3}} \dot{M}^{1/3} \left(\frac{\mu_{\text{HH}}}{2 \text{ кг}} \right)^{2/3} \left(\frac{\sigma}{\alpha_0} \right)^{1/3} \frac{\Omega}{\Omega^{1/3} \Omega^{2/3}} = \text{const.}$$

$$\Sigma^3 = \frac{64}{810} \frac{\sigma}{\alpha_0} \left(\frac{\mu_{\text{HH}}}{\text{кг}} \right)^2 2^{-2} \dot{M} \quad (*)$$

Потому что $\dot{M} \sim \sigma^2 \Omega^{-1} = \text{const}$ - значит из сохранения момента импульса $\Sigma = \text{const}$.

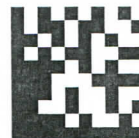
$$\Sigma^3 = \frac{64}{81 \cdot 3.14} \cdot \frac{5 \cdot 10^{-5}}{2.4 \cdot 10^{-4}} \left(\frac{2.4 \cdot 1.6 \cdot 10^{-24}}{9.5 \cdot 1.3 \cdot 10^{-16}} \right)^2 0.01^{-2} = 10^{-7} \cdot \frac{10^{33} \cdot 2}{6 \cdot 10^7} =$$

$$= \frac{14.4 \cdot 2}{3.142} \cdot 10^6 \approx 140 \text{ г/см}^2. \quad \left| \frac{\dot{M} \approx 10^{-7} \text{ Мг/с}}{2 \approx 10^2} \right|$$

Если диск упрощается, и $\dot{M} \sim 2^{-1/2}$ (см. 210 кейс), то

$$\Sigma \sim 2^{-5/6} \text{ (можно проверить).}$$

Состав $\dot{M} = 5 \cdot 10^{15} \frac{\text{см}^3}{\text{с}} \rightarrow \text{на } 2 \sim 309 \text{ л. } \tau_0 = \frac{2}{\dot{M}} \sim 10^6 \text{ лет.}$



Пожалуйста, пользуйтесь темно-синей или черной ручкой, не пишите за пределами клеточек и на оборотах листов, не мните листы и не складывайте их пополам.

$$\text{Если } x = x_0 = 2 \frac{\text{см}^2}{2}.$$

(12)

$$1) \tau = \frac{1}{2} x_0 \Sigma.$$

$$2) T_c^4 = \frac{3}{8} \Sigma x_0 \cdot \frac{3}{80} \frac{GM_*}{2^3} \frac{M}{\sigma}.$$

$$3) \frac{5}{T_c} = \frac{3}{8} \cdot \frac{3}{80} \cdot \frac{1}{30} \cdot \frac{x_0}{\sigma} \cdot \frac{\mu_{\text{H}}}{2K} M^2 \frac{GM_*}{2^3} \Sigma =$$

$$= \frac{3}{640^2} \frac{\mu_{\text{H}}}{8K\sigma} \frac{x_0}{2} \cdot \frac{GM_* \Sigma M^2}{2^3}; \text{ стоем сдесь, см. в стр (11)}$$

$$\boxed{T_c \sim 2^{-9/10}}$$

$$4) \Sigma = \frac{M}{30} \left(\frac{\mu_{\text{H}}}{2K} \right) \Sigma \left(\frac{640^2}{3} \right)^{4/5} \left(\frac{\mu_{\text{H}}}{8K\sigma} \right)^{-4/5} \left(\frac{x_0}{\sigma} \right)^{-1/5} \Sigma M^{-2/5}$$

$$\Sigma = \frac{2^{6/5}}{3^{3/5} \cdot 3^{6/5}} \left(\frac{\mu_{\text{H}}}{2K} \right)^{4/5} \left(\frac{x_0}{\sigma} \right)^{-1/5} M^{3/5} \Sigma^{2/5}$$

$$\boxed{\Sigma \sim 2^{-3/5}} \quad \text{не тех же M и } \Sigma:$$

$$\text{на 10.е.} \Sigma = \frac{2^{6/5}}{3^{3/5} \cdot 3^{6/5}} \left(\frac{2 \cdot 4 \cdot 1.6 \cdot 10^{-24}}{8 \cdot 0.01 \cdot 1.3 \cdot 10^{-16}} \right)^{4/5} \left(\frac{2}{5 \cdot 10^{-5}} \right)^{-1/5} \left(\frac{10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{35}}{3.14 \cdot 10^9} \right)^{3/5} \cdot \left(\frac{2 \cdot 3.14}{3.14 \cdot 10^9} \right)^{2/5} =$$

$$= \frac{0.6}{3.7} \cdot 1.7 \cdot 1.4 \cdot 2.4 \cdot 10^{-24/5} \cdot 10^{-1} \cdot 10^{57/5} \cdot 10^{-14/5} =$$

$$= 0.9 \cdot 10^{14/5} \approx 600 \text{ ч/см}^2.$$

Итого 2000 ч/см² по СДММ/



Пожалуйста, пользуйтесь темно-синей или черной ручкой, не пишите за пределами клеточек и на оборотах листов, не мните листы и не складывайте их пополам.

(12+)

Профиль толщине диска

$$\delta = \frac{h}{2} = \frac{G}{\Omega \Omega} = \left(\frac{\mu K}{\mu_{\text{шн}}} \right)^{1/2} \frac{T_c^{1/2}}{\Omega \Omega}$$

Раздувающийся диск: пусть $T_c \sim 2^{-\beta}$:

$$\frac{2^{-\beta/2}}{2^{-3/2}} = 2^{1-\beta/2} \Rightarrow \boxed{\beta < 1}$$

~~Сопр (11)~~ $n(6)$ зк не выражается в дробях:

$$T_c^3 = \frac{3}{64 \cdot 3.14^2} \cdot \frac{2.4 \cdot 1.6 \cdot 10^{-24}}{1.3 \cdot 10^{-16} \cdot 5 \cdot 10^{-5}} \cdot \frac{2.4 \cdot 10^{-4}}{0.01} \cdot \left(\frac{10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{53}}{3.14 \cdot 10^9} \right)^2$$

$$\cdot \left(\frac{2 \cdot 3.14}{3.14 \cdot 10^9} \right)^3 \cdot (30 \text{ а.е.})^{-3/2} = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-5} \cdot 10^{38} \cdot 10^{-21} \cdot 10^{-3/2} \approx$$

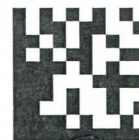
$$\approx 4 \cdot 10^{9-3/2} \approx 450^3 \text{ K}^3 \quad (1.)$$

~~Сопр (12)~~ $T_c = 680 \text{ K}$ зк 2го уровня сопр (12).

$$T_c = 680 \cdot \left(\frac{2}{1 \text{ а.е.}} \right)^{-3/10}$$

$$\delta = \left(\frac{1.3 \cdot 10^{-16} \cdot 7.5}{2.4 \cdot 1.6 \cdot 10^{-24}} \right)^{1/2} \cdot \frac{(680)^{1/2}}{30 \cdot 10^5} = \frac{0.6}{3} \cdot 6.8^{1/2} \cdot \frac{10^5}{10^6} = \boxed{0.05}$$

$$G \approx 30 \frac{\text{ш}}{\text{с}} \cdot \delta = 1.5 \frac{\text{ш}}{\text{с}}$$



Пожалуйста, пользуйтесь темно-синей или черной ручкой, не пишите за пределами клеточек и на оборотах листов, не мните листы и не складывайте их пополам.

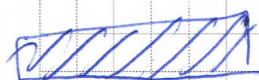
12/1

Проводимость оуэнок:

И универс $\alpha_0 = 2 \text{ см}^2/\text{с}$ и $\rho = 1 \text{ а.е.}$ (стр 12).

Температура на поверхности гуде:

$$T_d^4 = \frac{3}{8 \cdot 3.14} \left(\frac{2 \cdot 3.14}{3.14 \cdot 10^2} \right)^3 \frac{10^{-7} \cdot 2 \cdot 10^{33}}{3.14 \cdot 10^2 \cdot 5 \cdot 10^{-5}} = 6 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{10} = 6 \cdot 10^8 = 150^4 \text{ K}^4$$



(★) Вообще, типичные величины гуде гуде оуэнок: на 1 а.е.: $T = 100 - 300 \text{ K}$

$$\delta = 0.01 - 0.05$$

$$(2R) \approx v_p = 30 \text{ см/с}$$

$$\zeta = 1 \text{ см/с}$$

$$\Sigma = 10^3 \text{ г/см}^2$$

$$\rho = 10^{-3} \text{ г/см}^3$$

$$n = 10^{15} \text{ см}^{-3}$$

Светимость гуде:

$$L = 2 \int_{r_{in}}^{r_{out}} 2\pi r dr \sigma T_d^4 = \text{free boundary} = \frac{GM \times M}{2r_{in}} \sim 10^{34} \text{ эрг/с} > L^*$$

Масса гуде:

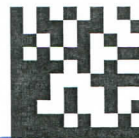
$$M = \int_{r_{in}}^{r_{out}} 2\pi r dr \Sigma(r) = \text{из того же универс} =$$

Per. №

страница

из

$$= 2 \cdot 3.14 \cdot 600^2 / \text{см}^2 \int_{0.1}^{30} 2^{-3/5} dr = 2 \cdot 3.14 \cdot 600 \cdot \frac{5}{2} \cdot 2^{9/5} \Big|_{0.1}^{30} = 2500 \cdot 2^{9/5} \cdot (1.5 \cdot 10^{13})^2 = 4.4 \cdot 10^5 \cdot 10^{26} = 4.4 \cdot 10^{31} \text{ (г)} \quad \boxed{< 1\% M_{\odot}}$$



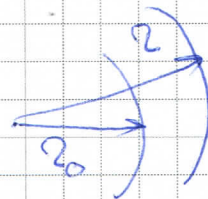
Пожалуйста, пользуйтесь темно-синей или черной ручкой, не пишите за пределами клеточек и на оборотах листов, не мните листы и не складывайте их пополам.

13

на семинаре 1:

1) Получение критерия Рэнда.

$$z > z_0$$



$$j^2 = z_0^2 \Omega(z_0)$$

$$f_0 = z_0^2 \Omega(z_0) = \frac{j_0^2}{z_0^3}$$

Смещение эквивалентно ширине на радиусе $z > z_0$.

$$j_0 \rightarrow f'_z = \frac{j_0^2}{z^3}$$

$$f = \frac{j^2}{z^3} \cdot \text{критерий устойчивости} \rightarrow f' < f, \text{ т.о.}$$

$$j^2 > j_0^2, \text{ т.о. } \frac{\partial j^2}{\partial z} > 0: \text{уравнение имеет ширину, растет по радиусу.}$$

$$\text{Фр } \Omega \sim z^2; \quad q < 2.$$

Кеннеровский поток — лавиноустойчив.

То же самое можно показать и для возмущения с зависимостью от φ и т.о. не сохраняющего j .

Эндрю-Кеннеровский поток — вообще инвариантно-устойчив!

Лавино (лабораторно и с трением) устойчив, зависимость, зависимость — есть неустойчивости, но это — инвариантно-зависимые (вещи).





Пожалуйста, пользуйтесь темно-синей или черной ручкой, не пишите за пределами клеточек и на оборотах листов, не мните листы и не складывайте их пополам.

(14)

Время в граве.

- 1) Динамическое: $t_d = \Omega^{-1}$.
- 2) Звуковое: $t_s = \frac{2}{c_s} = (\Omega \delta)^{-1}$.
- 3) Беззвучное: $t_0 = \frac{2}{\Omega}$.

Как оценить?

стр 5) $\Rightarrow |V|^2 + \frac{\dot{M}}{2\pi R \Sigma} = \frac{3}{2} \frac{\dot{M}}{3\pi R \Sigma} = \frac{3}{2} \frac{\dot{Q}}{R}$.

$t_0 = \frac{2}{V_2} = \frac{2}{3} \frac{2^2}{\Omega}$ гравитационное! $= \alpha^{-1} \delta^{-2} \Omega^{-1}$.

- 4) Тепловое: (время охлаждения на гравитационный радиус)

$$t_{th} = \frac{U}{D} = \frac{\int (\gamma-1)^{-1} \rho dz}{g/4 \Omega \Sigma \Omega^2} = \frac{(\gamma-1)^{-1} \Sigma^2 \Sigma}{g/4 \Omega \Sigma \Omega^2} = \frac{4}{g(\gamma-1) \alpha R}.$$

$\sim t_d \alpha^{-1}$! Важно - суть стандартного граве!

$t_0 \gg t_{th}$ всегда, пока $\delta \ll 1$!

~~Или~~

→ Оценка амплитуды и абсорбционных френс радиус граве:

$z \approx 10^3 \text{ а.р.}$

$\delta \approx 0.05$

$z \approx 10^3 \text{ кед}$

$\tilde{z} = (10^3 \text{ кед}) \frac{25}{10^3 \text{ кед}} \cdot 0.05^2 \approx 3 \cdot 10^{-3} \cdot 6.25 \cdot 10^{-4} \approx 5 \cdot 10^{-7} \approx 50$.

$\alpha \approx 0.02$

Вывод уравнений MRF.

(15)

Для углов канан:

$$\begin{cases} \ddot{z} - 2\dot{\varphi}^2 = -\frac{d\varphi}{dz} + f_z \\ 2\dot{\varphi} + 2\dot{z}\dot{\varphi} = f_\varphi \end{cases}$$

Замена координат: $z = z_0 + x$
 $\varphi = \Omega t + y/z_0$

$$\begin{cases} \ddot{x} - (z_0 + x)(\Omega + \dot{y}/z_0)^2 = -\Omega^2(z_0 + x) + f_z \\ (z_0 + x)\ddot{y}/z_0 + 2(\dot{x})(\Omega + \dot{y}/z_0) = f_\varphi \end{cases}$$

$$\begin{cases} \ddot{x} - z_0\Omega^2 - x\Omega^2 - 2\Omega\dot{y} - \frac{2x\Omega\dot{y}}{z_0} = -\Omega^2 z_0 - \Omega^2 x + f_z - 2\Omega\Omega'x z_0 \\ \ddot{y} + 2\dot{x}\Omega = f_\varphi \end{cases}$$

$= (\Omega + x\Omega')^2(z_0 + x)$

$$\begin{cases} \ddot{x} - 2\Omega\dot{y} = -x 2\frac{d\Omega^2}{dz} + f_x \\ \ddot{y} + 2\Omega\dot{x} = f_y \end{cases}$$

Магнитная сила: просто возмущающая сила в адиабатическом волне, тогда:

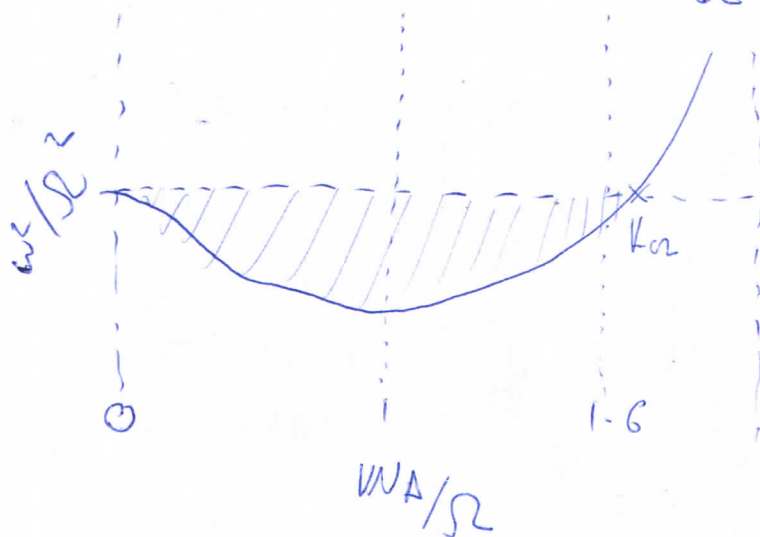
$$f_{x,y} = -\omega_{A/ph}^2(x,y) = (KV_A)^2(x,y)$$

из уравнения получаем $\ddot{\vec{z}} = -\omega_{A/ph}^2 \vec{z}$

Затем подставляем $\vec{z} \sim e^{i(\omega t - kz)}$

$$\begin{cases} -\omega^2 x - 2i\omega\Omega y = -x 2\frac{d\Omega^2}{dz} - (KV_A)^2 x \\ -\omega^2 y + 2i\omega\Omega x = -(KV_A)^2 y \end{cases}$$

$$\omega^4 - \omega^2 \left[2 \frac{d\Omega^2}{dz} + 4\Omega^2 + 2(KV_A)^2 \right] + (KV_A)^2 \left[(KV_A)^2 + 2 \frac{d\Omega^2}{dz} \right] = 0 \quad (16)$$



Степень ионизации:

Известно, что $MR \propto R_M^{-1}$.

Оценим $R_M \approx \frac{U_0}{\gamma} = \frac{V_A h}{c^2 / 4\pi e^2 \rho}$ $\approx 10^{12} \times \left(\frac{2}{10^2} \right)^{1/2} \left(\frac{2}{19.2} \right)^{3/2} \left(\frac{T_c}{300K} \right)^{1/2} \left(\frac{M_*}{A_0} \right)^{-1/2}$

↑
иониз. степ.
↑
плотность

x-степень ионизации $x_{crit} = 10^{-12}$.



Оценке R_e в протонном граве.

(17)

См. стр (12+1) с параметрами граве.

$$\sigma_m \sim 2\sigma = \frac{G}{n\sigma} ; R_e = \frac{Gh}{\sigma_m} = \frac{h}{\lambda} = h n \sigma.$$

$$t_{\sigma_m} \sim \frac{(i.a.p.)^2}{\sigma_m} 3$$



$$\lambda = \frac{1}{10^{15} \cdot (10^{-8})^2} = 10 \text{ см.}$$

$$R_e = \frac{10^{11} \text{ см}}{10 \text{ см}} = 10^{10}$$

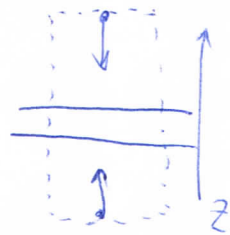
$$t_{\sigma_m} = \frac{(10^{13})^2}{10^5 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot 10 \text{ см}} = 10^{20} \text{ с} \sim 10^{13} \text{ лет.}$$



Оценки вавог җитәрме Топмре

(18)

Рассмотрим грав или бесконечно тонкий срез
бесконечности.



$$\frac{dg_z}{dz} = -4\pi G \rho \int dz$$

$$-2g_z = -4\pi G \int \rho dz = -4\pi G \Sigma$$

$$g_z = 2\pi G \Sigma$$

Условие: $2\pi G \Sigma < \Omega^2 h$.

$$\Sigma < \frac{\Omega^2 h}{2\pi G} = \frac{G M_* h}{2\pi G} = \frac{M_* h}{2\pi}$$

$$\Sigma \sim \frac{M_d}{\Omega^2} \Rightarrow \frac{M_d}{\Omega^2} < \frac{M_* h}{2\pi}$$

$$\boxed{\frac{M_d}{M_*} < \frac{h}{2\pi}}$$

Условие не выполняется, грав.



$Q = \frac{\xi \Omega}{4\pi G \Sigma} \geq 1$ по-прежнему - условие Топмре.



I) Потом добавить в этом месте вавог оценки Δ_{grav} через t_{cool} :
р-102 (3-94, 3-98) кинематическая $\Delta_{\text{grav}} \approx \frac{4}{9(g-1)}(\Omega t_{\text{cool}})^{-1}$.

II) К вопросу об "entropy-driven instabilities" - добавить
интересный вавог $\Omega = \Omega_K \left[1 - \frac{1}{4} \delta^2 (\beta + 2\gamma + 3 + \beta \frac{z^2}{h^2}) \right]$
где $\delta \sim 2^{-\sigma}$; $T_c \sim 2^{-\beta} \rightarrow$ Аришатак - 2015, р-1а (17).

