

Сравнительный анализ энерговыведения в магнитосфере Земли, Юпитера и Сатурна

Алексеев И. И.¹, Беленькая Е.С.¹, Ходаченко М.Л.²

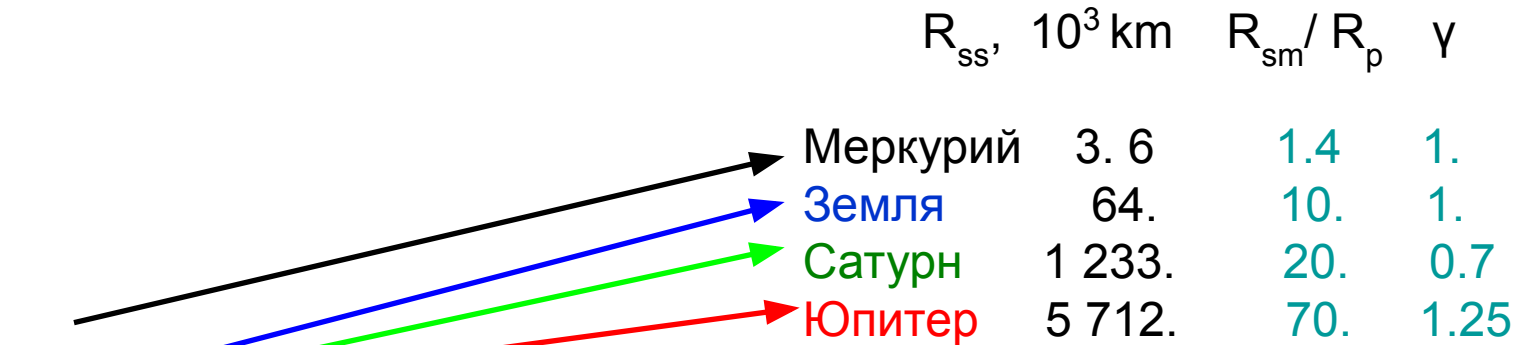
¹ Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, МГУ им М.В. Ломоносова, Москва, Россия

² Институт Космических Исследований, Грац, Австрия

Содержание

- Что может дать сопоставление магнитосфер различных планет?
- Параболоидная модель магнитосферы «универсальной» планеты.
- Соотношение параметров магнитосферы Земли, Юпитера и Сатурна.
- Вклад магнитосферных источников энергии в энергетический баланс термосферы (атмосферы).

Универсальная модель магнитосферы



Солнечный ветер

$$M_A \sim 10$$

$$V_{sw} = 400 \text{ km/s}$$

	$B_{ss}, \text{ нТ}$	r_0
Меркурий	196.	0.38
Земля	74.5	1.0
Сатурн	7.8	9.5
Юпитер	14.3	5.2

Масштаб: Меркурий: $1 = .14 R_M$; Земля: $1 = 1 R_E$; Сатурн: $1 = 2.2 R_S$; Юпитер: $1 = 10 R_J$

Диаметр полярного овала

	R_{ss}	M_{eff}/M_{pl}	θ_{oval}
• Земля	$10 R_E$	1.0	18.4°
• Юпитер	$70 R_j$	4.5	14.7°
• Сатурн	$22 R_s$	1.0	12.3°

$$\sin^2 \theta = \frac{1}{R_{ss}} \frac{M_{eff}}{M_{pl}}$$

R_{ss} – это расстояние до подсолнечной точки в R_{pl}

Параметры магнитосферы

		R_o au	M_{sw} сек ⁻¹	Диск Вт	R_{ss} 10 ⁶ km	I_{cf} МА	θ_{pc} degs
Earth		1.0	6 кг	-	0.07	4.1	19
Jupiter		5.2	150 т	$10 \cdot 10^{12}$	5.72	65.	15
Saturn		9.5	3 т	$7 \cdot 10^9$	1.23	7.6	13




$$B_m = \sqrt{2\mu_0 n_0} \frac{V}{r_0}$$

$$I_m = \frac{B_m R_1}{\mu_0}$$

$$B_m [\text{nT}] = \frac{74.5}{r_0 [\text{au}]}$$

$$I_m [\text{MA}] = 0.8 B_m [\text{nT}] R_1 [10^6 \text{ km}]$$

ММП и униполярный генератор

	R_o au	B_{IMF} nT	Ω_p 10^{-4} rad/s	T_{orbit} hours	$\Delta\Phi_{rot}$ MB	θ_{pc} degs
	1.0	3.5	0.73	10.	0.09	20
	5.2	.66	1.76	10^3	367.	15
	9.5	.37	1.615	10^3	12.2	13

$$IMF \quad B_\phi = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_0} \quad B_{IMF-\phi} [nT] = \frac{3.53}{r_0 [au]}$$

$$\frac{B_m}{B_{IMF}} = 21.1 \approx 2M_A \quad I = 2.65 GA$$

Поток открытых
силовых линий ММП

$$\Phi_{Spc} = 500 TWb$$

Полный поток

$$\Phi_{Sun} = 4000 TWb$$

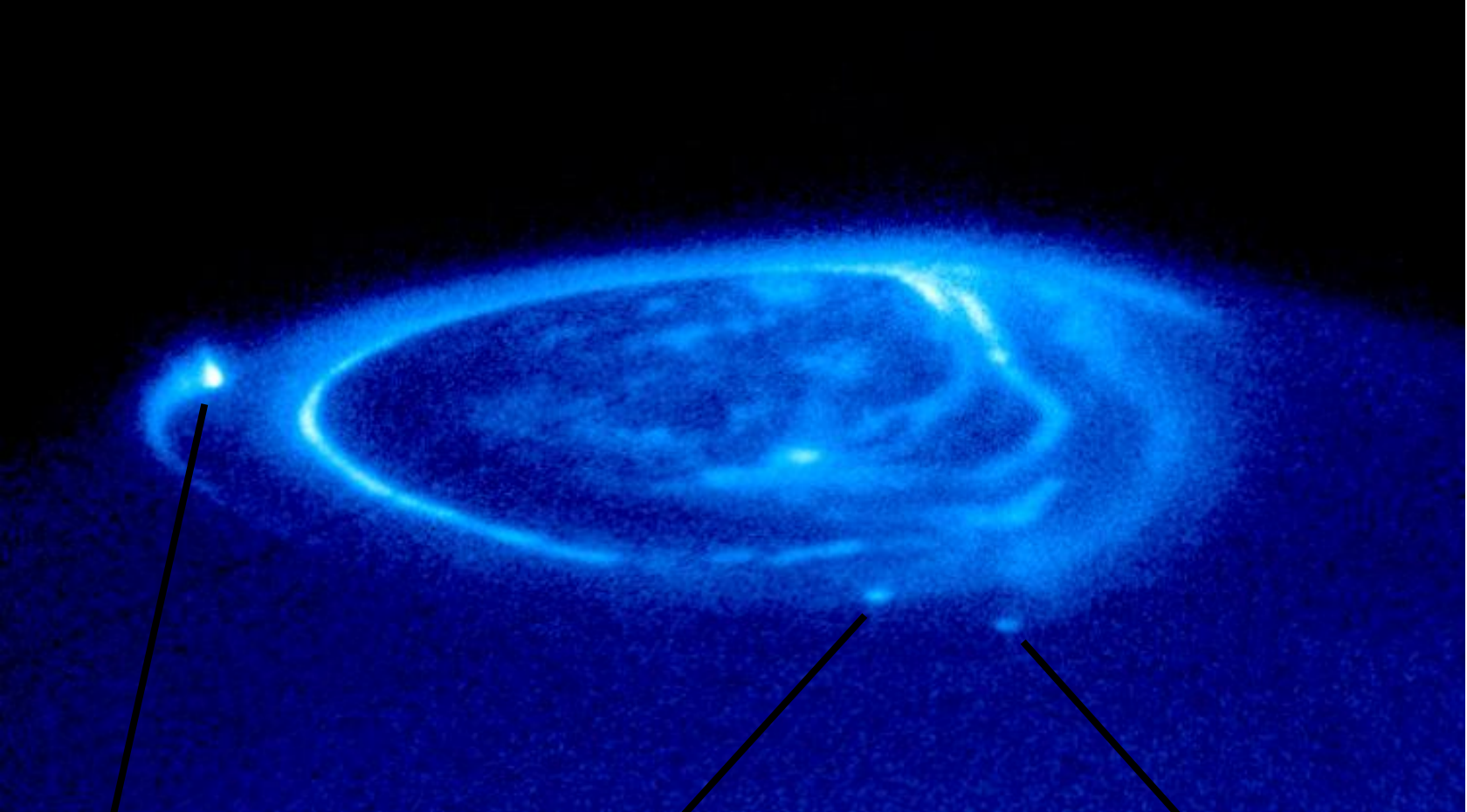
Вращение и МГД генератор солнечного ветра

	R_o au	B_{IMF} nT	$\Delta\Phi_{rot}$ MB	$\Delta\Phi_{sw}$ kB	θ_{ov} degs	$\Delta\Phi_{rpc}$ kB	$\sin^2\theta_{ov}$
	1.0	3.53	0.1	45.2	20	9.9	.11
	5.2	.66	367.	720.	15	24580.	.067
	9.5	.37	12.2	84.8	13	610.	.05

$$\Delta\Phi_{rot} = B_{0p} R_p^2 \Omega_p$$

$$\Delta\Phi_{sw} = k V_{sw} B_{IMF} 5R_1 \quad k = 0.1$$

$$\Delta\Phi_{rpc} = \Delta\Phi_{rot} \sin^2 \theta_{pc}$$



Ио, 5.9 Ганимед, 14.9 Европа, 9.4
26 Nov 1998, HST, Clarke, BU, USA.

Параболоидная модель

$$\overline{B}_m = \overline{B}_{CF}(\psi, R_1) + \overline{B}_t(\psi, R_1, R_2, \Phi_\infty) + \overline{B}_r(\psi, b_r) + \overline{B}_{fac}(\psi, I_{||}).$$

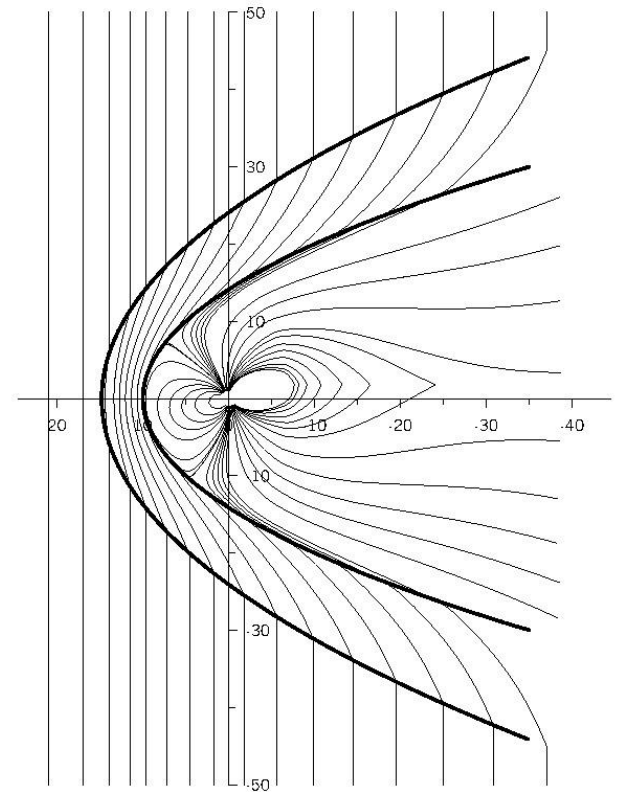
$$\underline{B} = \underline{B}_{int} + \underline{B}_{CF} + \underline{B}_t + \underline{B}_r + \underline{B}_{fac}$$

$$x = \frac{R_1}{2}(\beta^2 - \alpha^2 + \gamma^2)$$

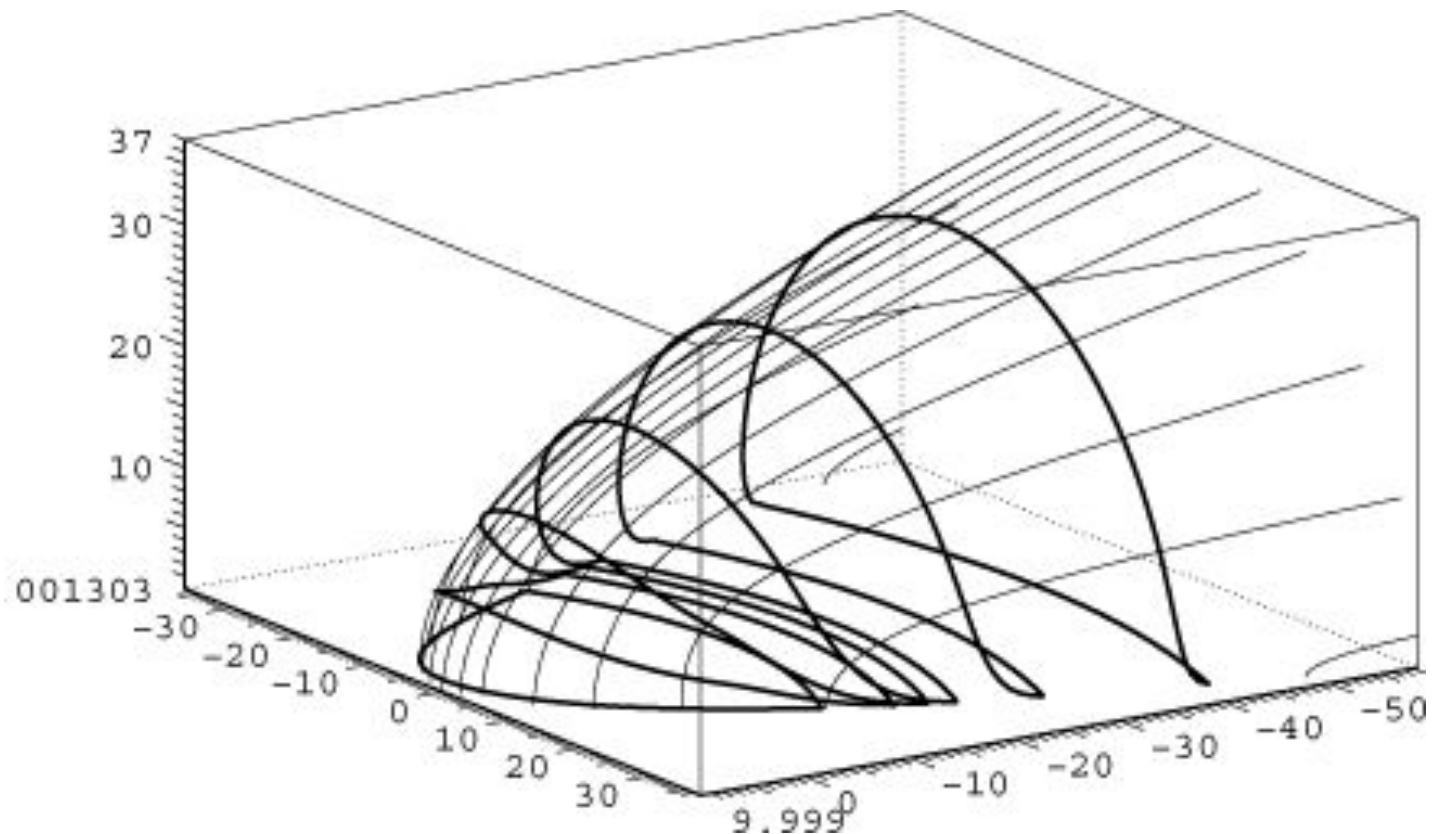
$$y = R_1 \alpha \beta \sin \varphi \quad z = R_1 \alpha \beta \sin \varphi$$

$$\left(\frac{z_{mp}}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{y_{mp}}{R_1}\right)^2 + 2\left(\frac{x_{mp}}{R_1}\right) = (\gamma^2 + 1)$$

$$x_{mp} = R_S = \frac{(\gamma^2 + 1)}{2} R_1 \quad \sqrt{y_{mp}^2 + z_{mp}^2} = \sqrt{\gamma^2 + 1} R_1$$

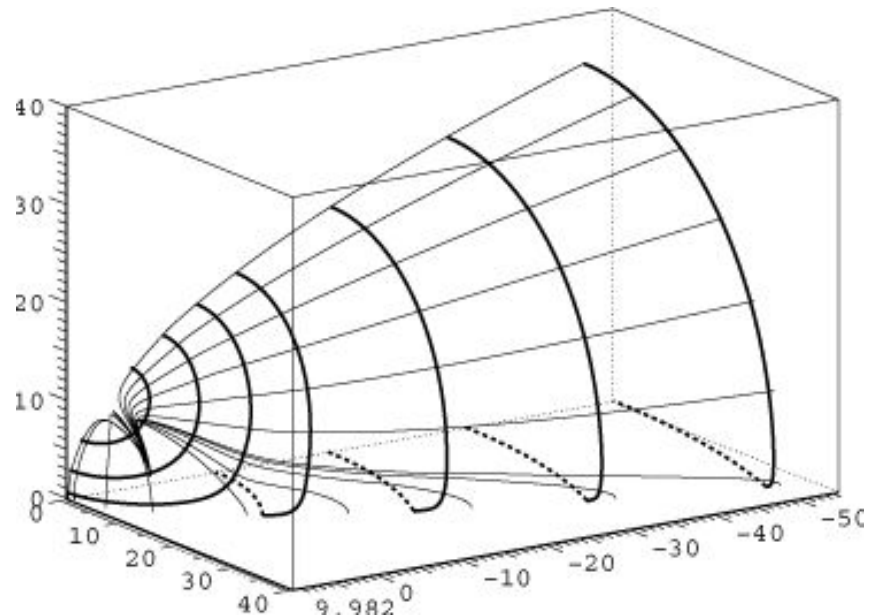


Токовая система хвоста



Токи на магнитопаузе и токи хвоста

- Силовые линии выстилающие вдоль магнитопаузы (тонкие линии)
- Линии тока на магнитопаузе (жирные линии) и линии тока в плазменном слое (прерывистые линии)



Планетарный энергетический баланс

Параметр (ед. изм.)	Земля	Юпитер	Сатурн
Сферическое альbedo	.39	.343	.342
Плотность потока от Солнца (Вт/м ²)	836	33.1	10.
Поток солнечной энергии (10 ¹⁷ Вт)	1.07	5.29	1.13
Проводимость Педерсена (Ом ⁻¹)	10.	1.	3.
Продольный ток (МА)	2.	100.	12.
Напряжение (МВ)	.2	370.	12.5
Джоулев разогрев (10 ¹⁷ Вт)	4 10 ⁻⁶	.74	.003

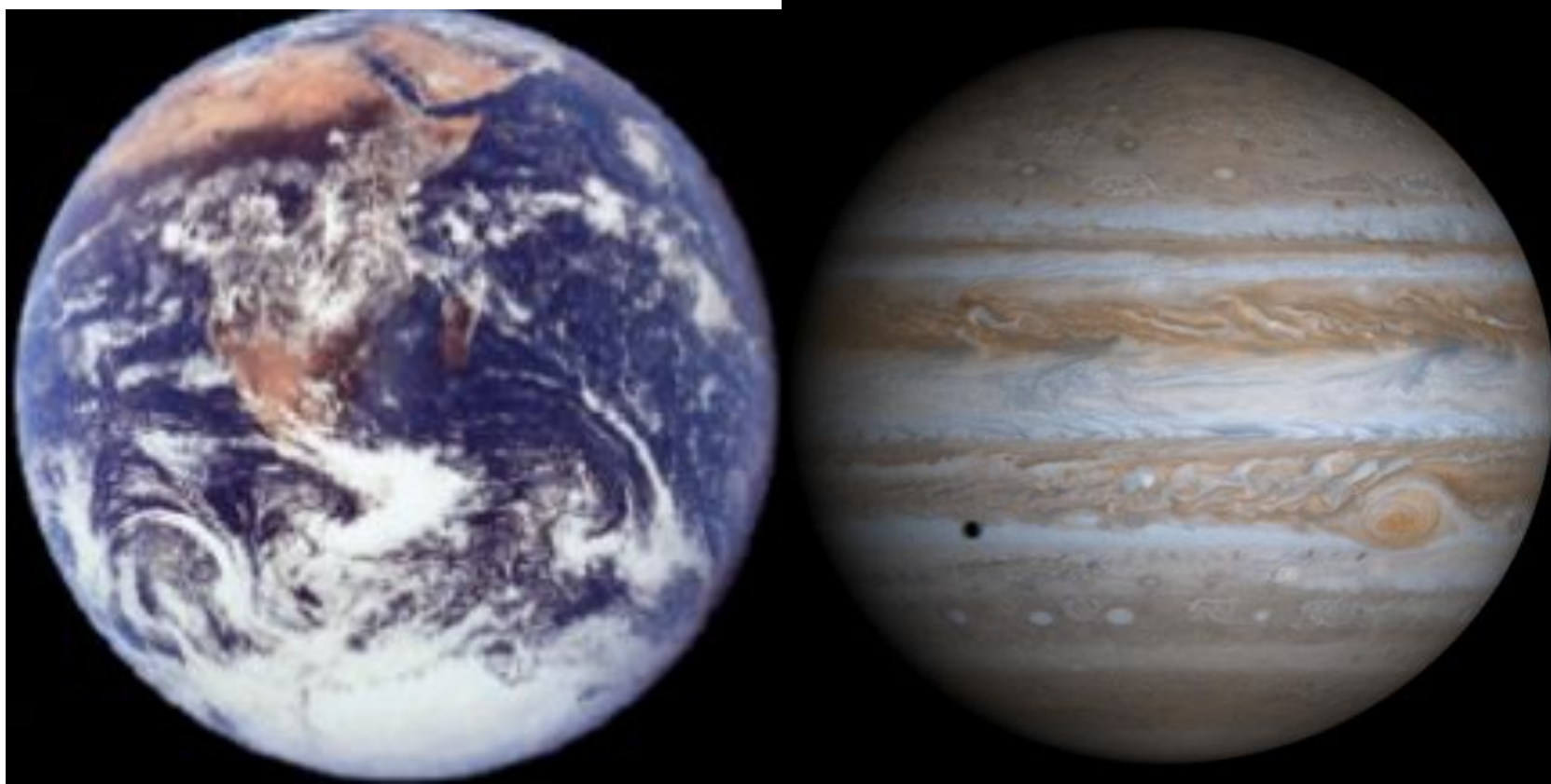
Энергетический баланс полярных областей атмосферы

Параметр (ед. изм.)	Земля	Юпитер	Сатурн
Радиус полярного овала (гр.)	20	15	13
Доля площади полярного овала (10^{-3} от пл. круга)	2.2	.94	.6
Энергия ЕУФ в пш (10^{12} Вт)	4.7	3.6	1.3
Джоулев нагрев пш (10^{12} Вт)	.2	3700.	3.

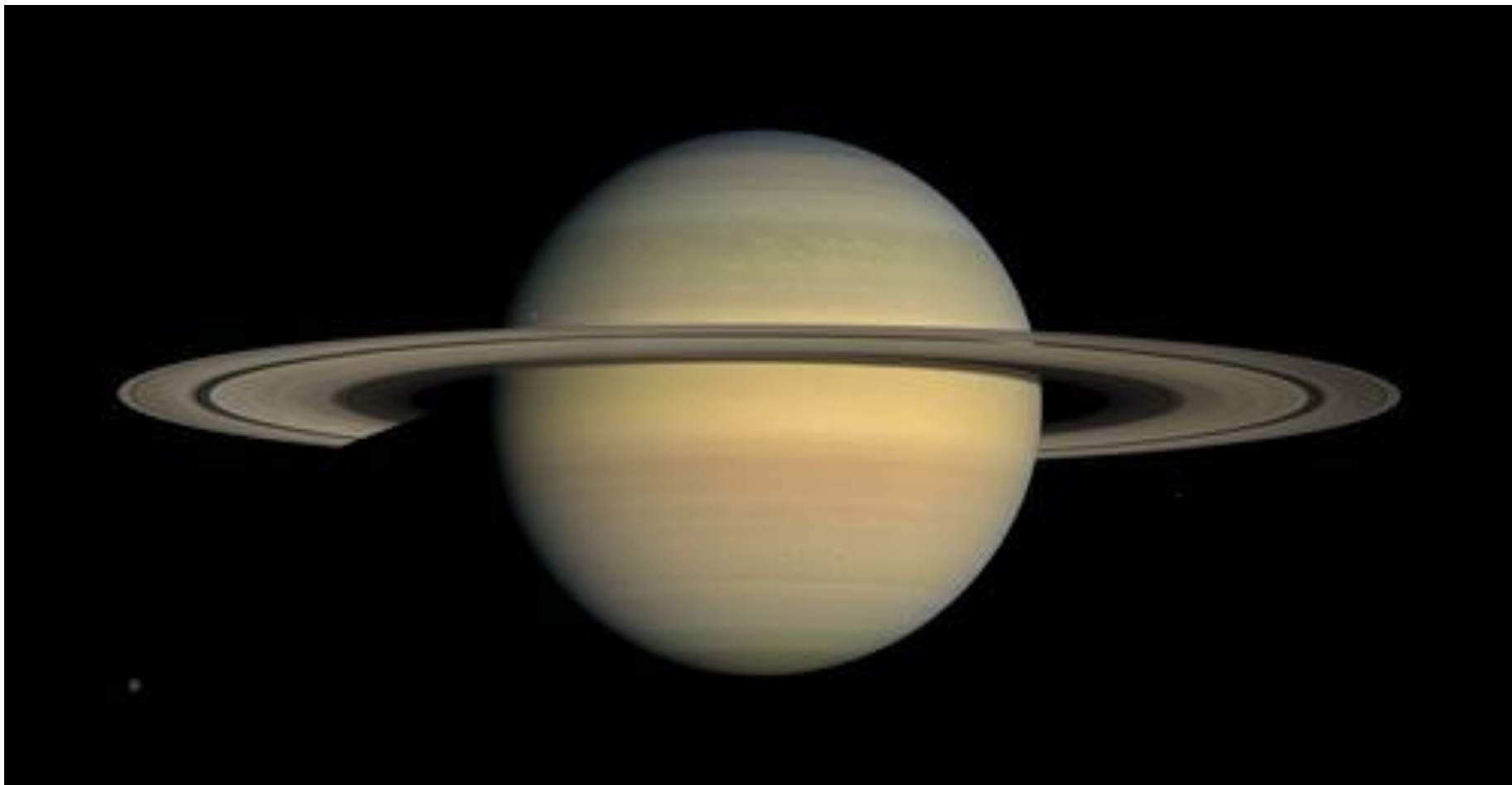
Атмосферная циркуляция

Земля

Юпитер



Сатурн



Заключение

- Относительная роль магнитосферных источников энергии (Джоулева разогрева в полярной ионосфере) возрастает при увеличении размеров магнитосферы.
- Для Юпитера продольные токи в полярную атмосферу меняют широтный профиль температуры и создают слоистую структуру атмосферной циркуляции.
- Джоулев разогрев меняет тепловой баланс Юпитера

Спасибо за внимание!