

# Сравнительный анализ энерговыведения в магнитосфере Земли, Юпитера и Сатурна

Алексеев И. И.<sup>1</sup>, Беленькая Е.С.<sup>1</sup>, Ходаченко М.Л.<sup>2</sup>

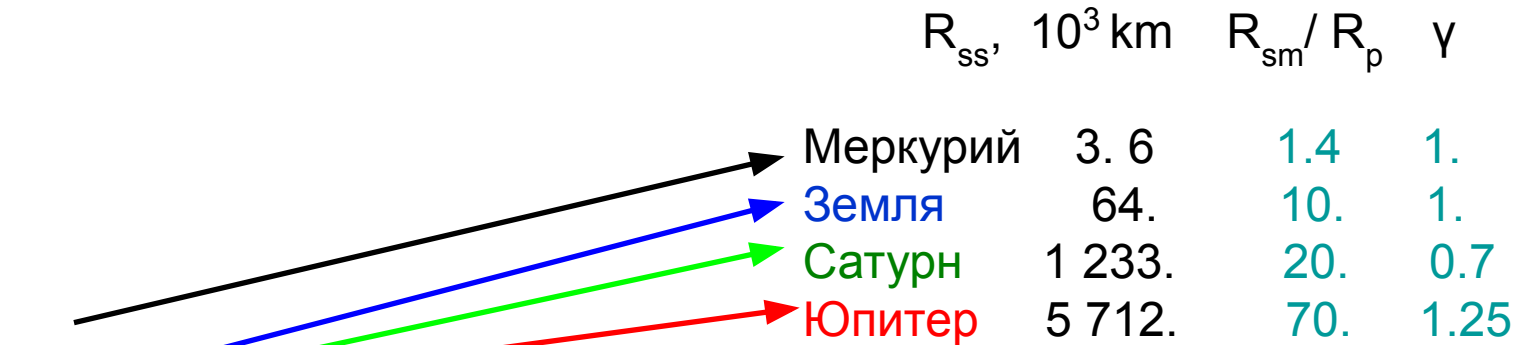
<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, МГУ им М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> 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

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

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

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

# Параметры магнитосферы

		$R_o$ au	$M_{sw}$ сек <sup>-1</sup>	Диск Вт	$R_{ss}$ 10 <sup>6</sup> km	$I_{cf}$ МА	$\theta_{pc}$ 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	$\Omega_p$ $10^{-4}$ rad/s	$T_{orbit}$ hours	$\Delta\Phi_{rot}$ MB	$\theta_{pc}$ 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

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

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

Поток открытых  
силовых линий ММП

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

Полный поток

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

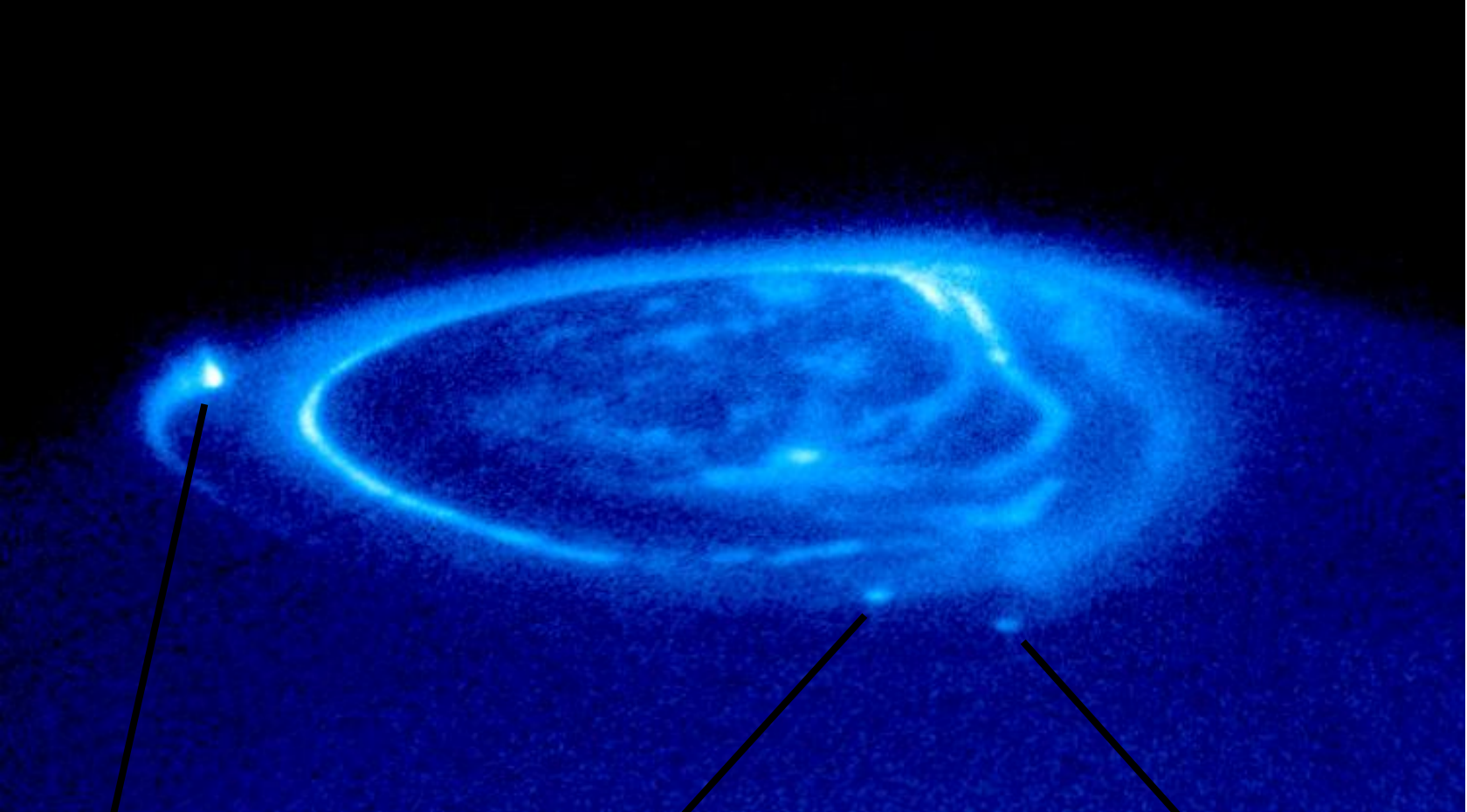
# Вращение и МГД генератор солнечного ветра

	$R_o$ au	$B_{IMF}$ nT	$\Delta\Phi_{rot}$ МВ	$\Delta\Phi_{sw}$ кВ	$\theta_{ov}$ degs	$\Delta\Phi_{rpc}$ кВ	$\sin^2\theta_{ov}$
	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

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

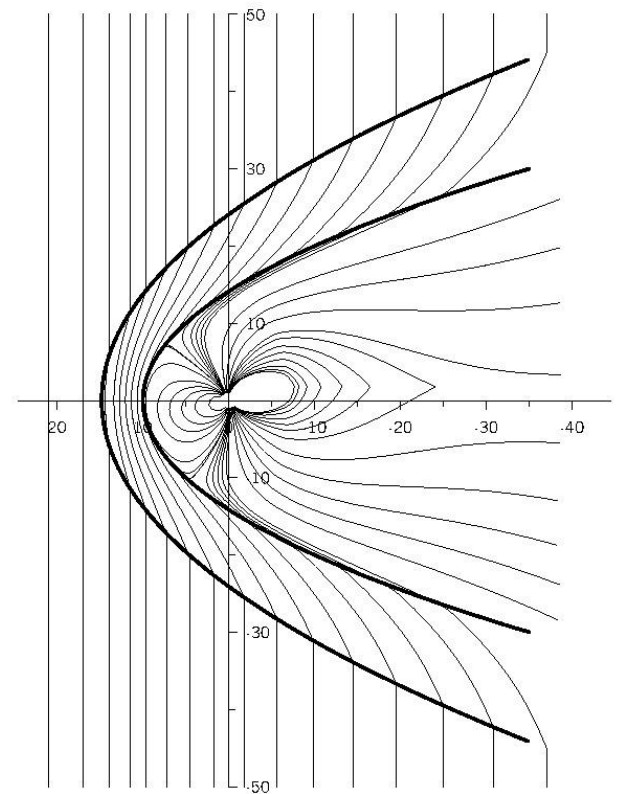
$$\underline{\mathbf{B}} = \underline{\mathbf{B}}_{int} + \underline{\mathbf{B}}_{CF} + \underline{\mathbf{B}}_t + \underline{\mathbf{B}}_r + \underline{\mathbf{B}}_{fac}$$

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

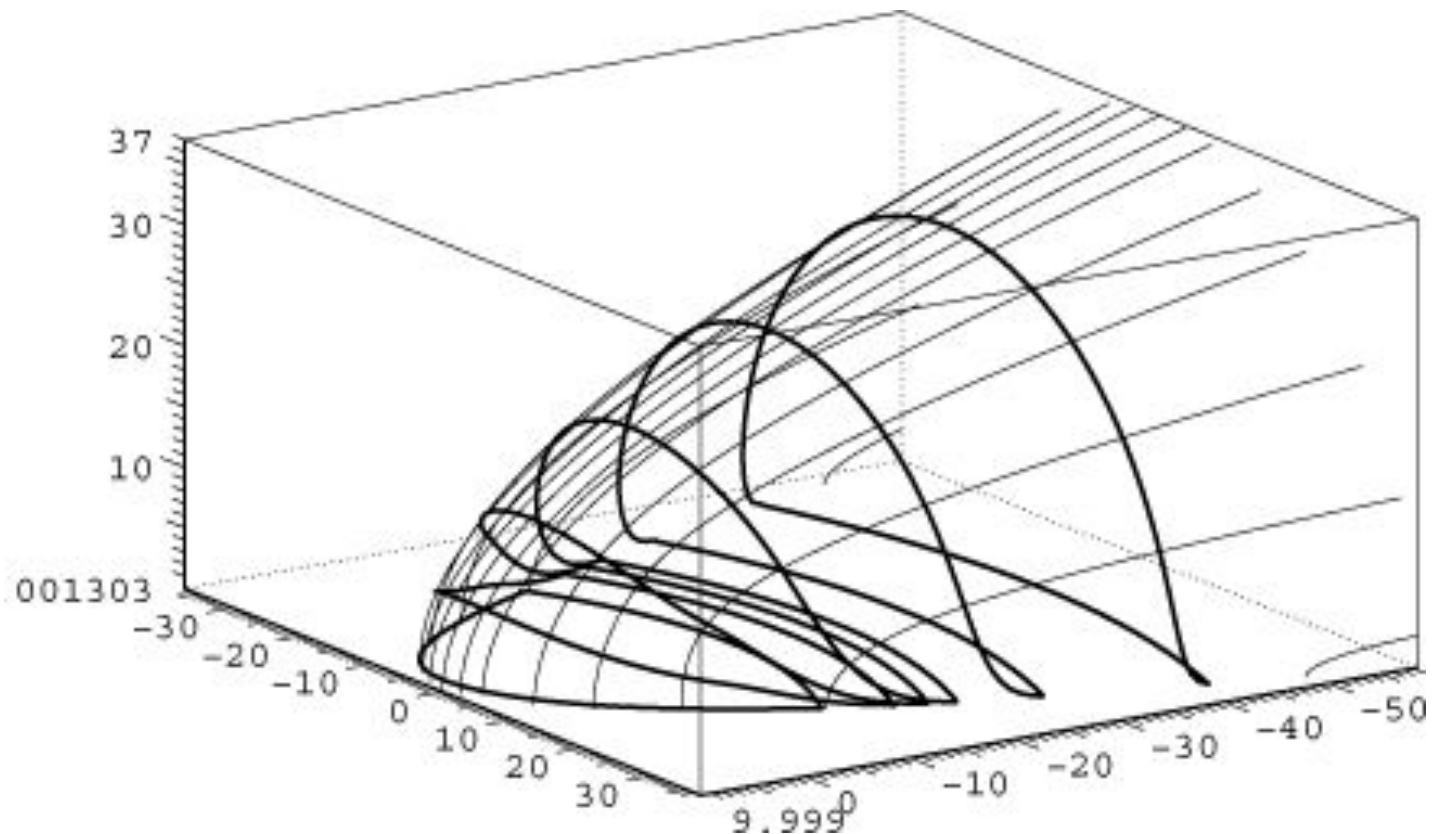
$$y = R_1 \alpha \beta \sin \varphi \quad z = R_1 \alpha \beta \sin \varphi$$

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

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

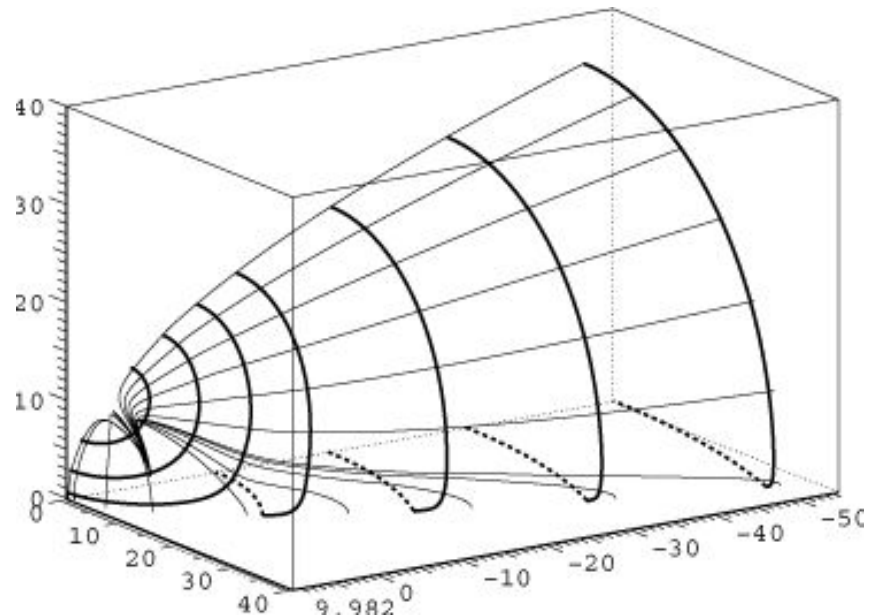


# Токовая система хвоста



# 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 <sup>2</sup> )	836	33.1	10.
Поток солнечной энергии (10 <sup>17</sup> Вт)	1.07	5.29	1.13
Проводимость Педерсена (Ом <sup>-1</sup> )	10.	1.	3.
Продольный ток (МА)	2.	100.	12.
Напряжение (МВ)	.2	370.	12.5
Джоулев разогрев (10 <sup>17</sup> Вт)	4 10 <sup>-6</sup>	.74	.003

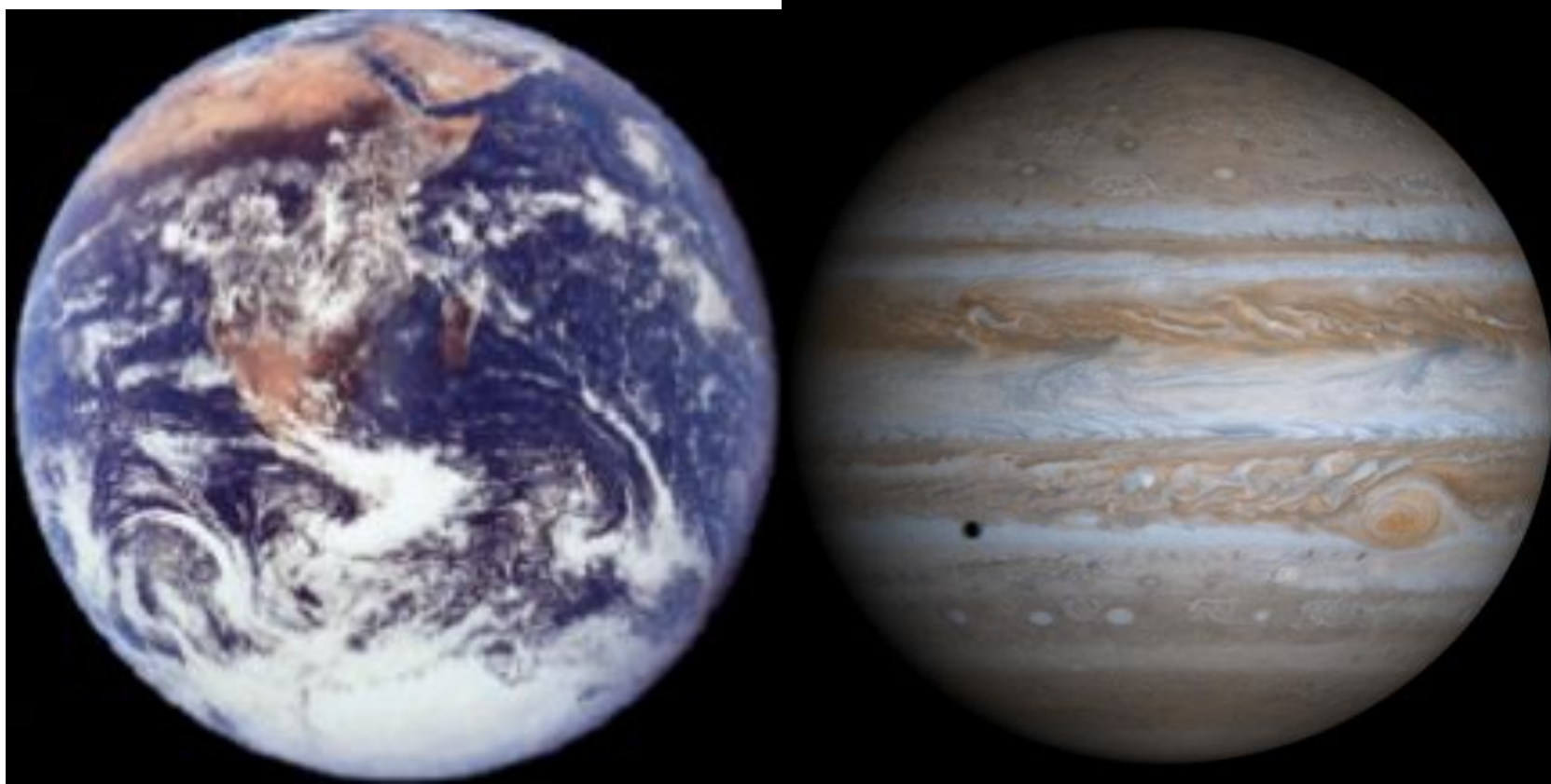
# Энергетический баланс полярных областей атмосферы

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.

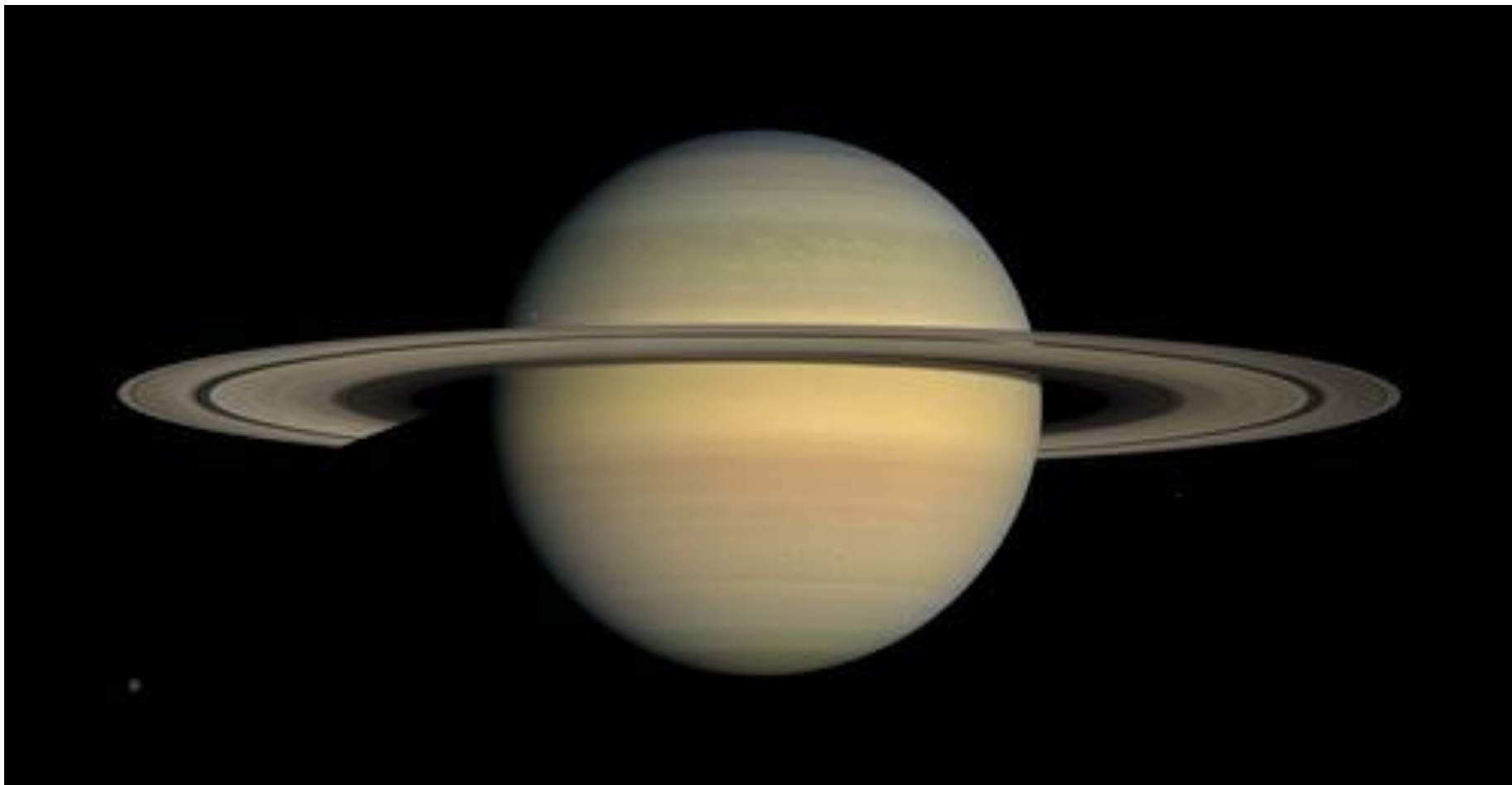
# Атмосферная циркуляция

## 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!