



САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра общей и теоретической физики

Ю.А. Снеткова^а, Ю.П. Филиппов^б

Силы светового давления и давления плазмы
солнечного ветра для сферической частицы.

Квантовомеханический расчет и сравнительный анализ

(Доклад)

Студенческая научная конференция
13 апреля 2005 год, СамГУ, Самара

^а E-mail: selenia@land.ru
^б E-mail: yurhil@front.ru

План доклада

1. Введение
2. Вычисление силы и потенциала светового давления
3. Вычисление силы и потенциала давления плазмы солнечного ветра
4. Численные результаты и сравнительный анализ
5. Заключение

1. Введение

- ✓ И. Кеплер (1619) - первое корректное предположение о природе кометных хвостов и действия света.
- ✓ Ольберс и Брунс (начало XIX) - первые попытки определения отталкивающей силы Солнца.
- ✓ Бессель (1836) - первая работа, о движении частиц кометы под действием силы притяжения Солнца и его отталкивающей силы.
- ✓ Г.В. Ольберс - предположение об электрической природе отталкивающей силы. Его союзники - Целльнер и Бредихин.



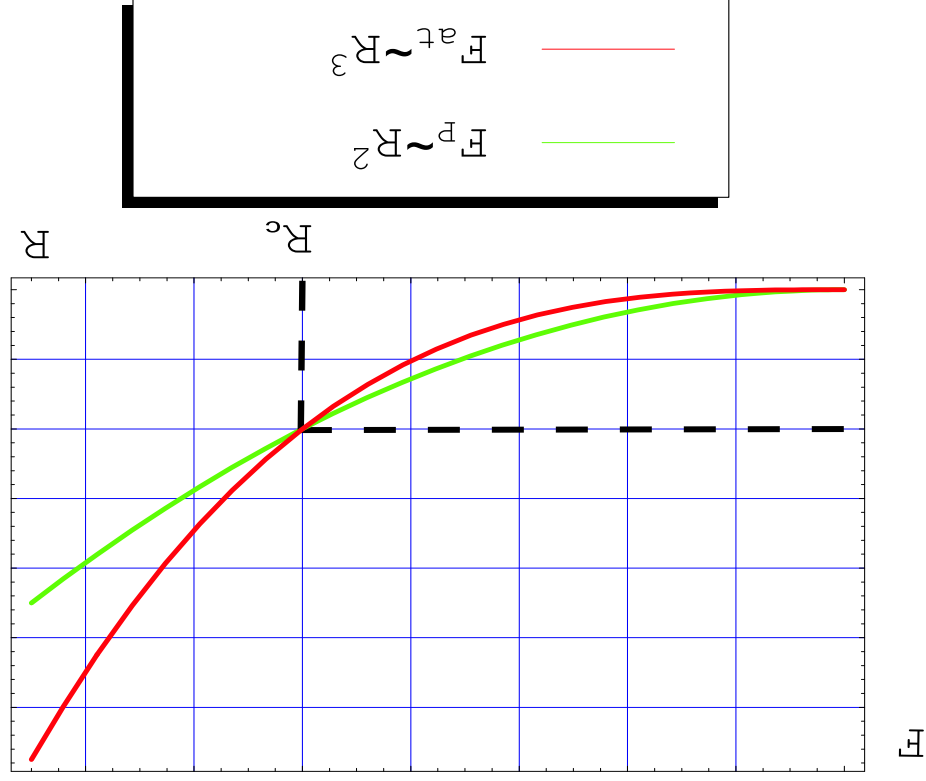
✓ Максвелл (середина XIX) - предсказание давления света

✓ П.Н. Лебедев (1900) - экспериментальное открытие светового давления

Попытка объяснить большие ускорения ионных потоков хвоста с помощью

светового давления оказалась несостоятельной.

✓ Л. Бирман (1951) - предположение о формировании ионного хвоста под действием солнечного ветра.
✓ Альвен (50-ые XX) - важная роль ММП в формировании ионного хвоста.



Прецизионный расчет сил давления необходим, потому что:

- ✓ данные характеристики играют ключевую роль в описании эволюции комет;
- ✓ для прямых космических исследований кометной материи необходимо точно определить законы движения ядра и частиц;
- ✓ исследование кинематики хвостов комет позволит получить информацию о межпланетном магнитном поле, солнечной активности, электрическом поле Солнца и других физических процессах и явлениях в областях, далеких от Земли и от плоскости эклиптики (Бирман, Люст).

Основные задачи данной работы:

1. Вычисление и анализ силы светового давления на сферическую частицу водного льда.
2. Вычисление и анализ силы давления плазмы солнечного ветра на сферическую частицу водного льда.
3. Сравнительный анализ указанных сил с силой притяжения, действующей на частицу со стороны Солнца.

Новизна результатов данной работы:

1. минимальный набор экспериментальных данных и отсутствие чисто феноменологических зависимостей;
2. глубокая и последовательная типизация элементарных процессов;
3. результирующая сила давления.

2. Вычисление силы и потенциала светового давления

2.1. Модель физической системы:

1. Солнце - абсолютно черное тело с температурой поверхности $T_{\odot} = 5777$ К. Спектральная плотность энергетической светимости описывается формулой Планка;
2. Солнце по структуре - шар радиуса R_{\odot} со сферически симметричным распределением массы. Неполаризованное излучение носит изотропный характер. Поглощением света межзвездной средой будем пренебрегать;
3. данное излучение - поток фотонов с плоским волновым фронтом;
4. корпюскула - шар из оптически однородной диэлектрической среды с показателем преломления $n(\omega)$;
5. поток фотонов в среде удовлетворяет закону Бугера:

$$(1) \quad \vec{j} = \vec{j}_0(\omega) e^{-\kappa(\omega)z},$$

где \vec{j} - плотность потока фотонов, прошедших расстояние z в данной среде, $\kappa(\omega)$ - коэффициент поглощения.

2.2. Расчет силы светового давления

(2)

$$\frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t} = -\vec{F}_p$$

(3)

$$\Delta \vec{P} = \Delta \vec{P}_1 + \Delta \vec{P}_2$$

(4)

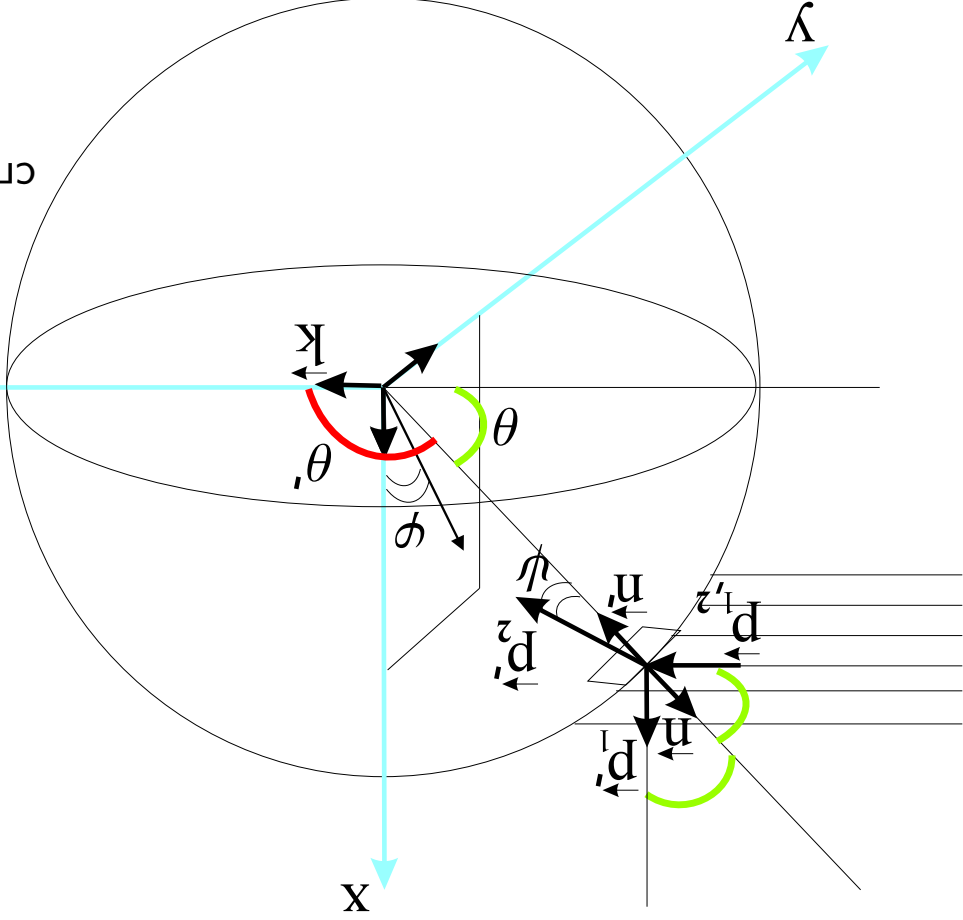
$$\left\{ \begin{aligned} \Delta p_{1x} &= p'_{1x} - p_{1x} = p_{\gamma} \sin 2\theta \cos \varphi \\ \Delta p_{1y} &= p'_{1y} - p_{1y} = p_{\gamma} \sin 2\theta \sin \varphi \\ \Delta p_{1z} &= p'_{1z} - p_{1z} = -2p_{\gamma} \cos^2 \theta \end{aligned} \right.$$

спектральный поток фотонов через площадь dS

(5) $d\Phi(\omega) = \vec{j}(\omega) d\vec{S} = j(\omega) dS(\vec{k}') = j(\omega) dS \cos \theta,$

(6)

$$\left\{ \begin{aligned} dP_{1x} &= p_n(\theta) d\Phi(\omega) \Delta p_{1x} d\omega = 2p_{\gamma} p_n(\theta) j(\omega) \sin \theta \cos^2 \theta \cos \varphi dS d\omega \\ dP_{1y} &= p_n(\theta) d\Phi(\omega) \Delta p_{1y} d\omega = 2p_{\gamma} p_n(\theta) j(\omega) \sin \theta \cos^2 \theta \sin \varphi dS d\omega \\ dP_{1z} &= p_n(\theta) d\Phi(\omega) \Delta p_{1z} d\omega = -2p_{\gamma} p_n(\theta) j(\omega) \cos^3 \theta dS d\omega \end{aligned} \right.$$



$$(7) \left\{ \begin{aligned} \Delta P_{1x} &= \Delta t \int dP_{1x} = \Delta t \int \int 2p_\gamma p_n(\theta) j(\omega) \sin \theta \cos^2 \theta \cos \varphi dS d\omega \\ \Delta P_{1y} &= \Delta t \int dP_{1y} = \Delta t \int \int 2p_\gamma p_n(\theta) j(\omega) \sin \theta \cos^2 \theta \sin \varphi dS d\omega \\ \Delta P_{1z} &= \Delta t \int dP_{1z} = \Delta t \int \int [-2p_\gamma p_n(\theta) j(\omega) \cos^3 \theta] dS d\omega \end{aligned} \right.$$

Переход в сферическую систему координат

$$(8) \left\{ \begin{aligned} x &= R_P \sin \theta' \cos \varphi = R_P \sin \theta \cos \varphi \\ y &= R_P \sin \theta' \sin \varphi = R_P \sin \theta \sin \varphi \\ z &= R_P \cos \theta' = -R_P \cos \theta \end{aligned} \right.$$

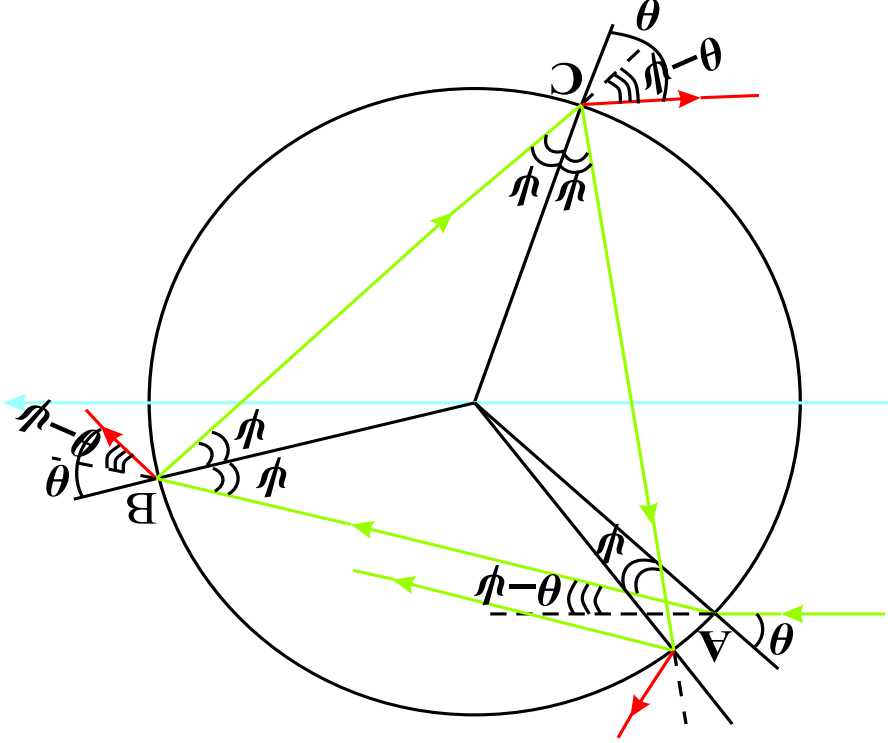
где $\theta' = \pi - \theta$.

$$dS = R_P^2 \sin \theta' d\varphi d\theta' = -R_P^2 \sin \theta d\varphi d\theta$$

$$0 \leq \varphi \leq 2\pi, \quad \frac{\pi}{2} \leq \theta \leq 0$$

$$(9) \quad \Delta P_{1z} = 2R_P^2 \Delta t \int_0^\infty p_\gamma j(\omega) d\omega \int_0^{\frac{\pi}{2}} p_n(\theta) \cos^3 \theta \sin \theta d\theta \int_{2\pi}^0 d\varphi =$$

$$4\pi R_P^2 A_0 \Delta t \int_0^{\frac{\pi}{2}} p_n(\theta) \cos^3 \theta \sin \theta d\theta = 4\pi R_P^2 A_0 \Delta t [I_2(n) - I_1(n)]$$



В итоге

- преломление на границе "вакуум-среда";
- поглощение излучения средой корпскуллы;
- внутреннее отражение от границы "среда-вакуум";
- выход фотонов из среды корпскуллы.

+ учет 4 эффектов

$$A_0 = \int_0^\infty p_{\gamma j}(\omega) d\omega, \quad I_1(n) = \int_{\frac{\pi}{2}}^\pi p_n(\theta) \cos \theta \sin \theta d\theta, \quad I_2(n) = \int_{\frac{\pi}{2}}^\pi p_n(\theta) \cos \theta \sin^3 \theta d\theta \quad (10)$$

$$F_p = F_{pz} = -2\pi R_p^2 A_0 \left[\frac{1}{8} n(n^2 + 1) + \frac{1}{16} (n^2 - 1)^2 \ln \left[\frac{n - 1}{n + 1} \right] - \frac{1}{4} - I_1(n) + I_2(n) - I_3(n) - nI_4(n, R_p) - nI_5(n, R_p) + I_6(n, R_p) \right] \quad (12)$$

$$F_p = \sum_{k=1}^5 \mathcal{F}_k \quad (11)$$

$$(13) \quad A_0 = \frac{R_2^{\odot} \pi_2 k_4 T_4^{\odot}}{60 r_2^2 c^3 h_3^{\odot}}, \quad p_n(\theta) = \frac{1}{2} S(\theta)_2 [1 + C(\theta)_2]$$

$$C(\theta) = 1 + \frac{n_2 - (n_2 + 1) \sin^2 \theta}{2} \sin^2 \theta \sqrt{\sin^2 \theta - \sin^2 \theta (1 - \sin^2 \theta)},$$

$$(14) \quad S(\theta) = 1 - \frac{n_2 - 1}{2} \left[\sin^2 \theta + \sqrt{\sin^2 \theta (1 - \sin^2 \theta)} \right]$$

$$U_P^{eff} = - \frac{2\pi R_P^2}{c} \frac{R_P^2}{r_P} R_2^{\odot} \sigma T_4^{\odot} \left[\frac{1}{8} n(n_2 + 1) + \frac{1}{16} n^2 - \frac{1}{2} \ln[(n - 1)/(n + 1)] \right] -$$

$$(15) \quad - \frac{1}{4} - \mathcal{I}_1(n) + \mathcal{I}_2(n) - \mathcal{I}_3(n) - n \mathcal{I}_4(n, R_P) - n \mathcal{I}_5(n, R_P) + \mathcal{I}_6(n, R_P)$$

3. Вычисление силы и потенциала давления плазмы СВ

3.1. Физические свойства солнечного ветра

$$(16) \quad 10^2 \text{ (км/с)} > v_{SW} > 10^3 \text{ (км/с)}$$

$$(17) \quad 3.33 \cdot 10^{-4} > \beta > 3.333 \cdot 10^{-3}$$

$$(18) \quad \left\{ \begin{array}{l} 3.966 \cdot 10^{-13} \text{ (м)} \leq \lambda_p^D \leq 3.966 \cdot 10^{-12} \text{ (м)} \\ 9.980 \cdot 10^{-14} \text{ (м)} \leq \lambda_\alpha^D \leq 9.980 \cdot 10^{-13} \text{ (м)} \end{array} \right.$$

$$(19) \quad \left\{ \begin{array}{l} 0.052 \text{ (кэВ)} \leq E_p \leq 5.222 \text{ (кэВ)} \\ 0.207 \text{ (кэВ)} \leq E_\alpha \leq 20.710 \text{ (кэВ)} \end{array} \right.$$

$$(20) \quad r_N \gg \lambda_p^D, \lambda_\alpha^D \gg r_A,$$

В работе [1] J. Linhard and A. Winther, Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk. 34, № 10 (1963) предложена

модель свободного электронного газа.

$$(21) \quad \text{при } \beta > 0.01 \quad \frac{dE}{dx} = -A\beta$$

$$(22) \quad v = v_0 - \alpha x, \quad \alpha = \frac{A}{mc}$$

$$(23) \quad j = nv = j_0 \left[1 - \frac{\alpha x}{v_0} \right]$$

Согласно работе [2] Gianti, V. N. Ivanchenko, G. Mancinelli, P. Nieminen, M.G. Pia, L. Urban GEANT4 Simulation of energy losses of protons and ions/ESTEC, Noordwijk, Sep 20-24:

$$(24) \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha_p = 6.274 \cdot 10^{12} \left(\frac{1}{\text{г}}\right), \text{ при } E_p = 1(\text{кэВ}), (v_p = 437.7 \left(\frac{c}{\text{км}}\right)) \\ \alpha_\alpha = 1.130 \cdot 10^{12} \left(\frac{1}{\text{г}}\right), \text{ при } E_\alpha = 3.32(\text{кэВ}), (v_\alpha = 400.0 \left(\frac{c}{\text{км}}\right)) \end{array} \right.$$

Из распределения Максвелла согласно работе [3]

Солнечный ветер // сборник докладов под ред. Р.

Дж. Маккина и М. Нейгебауэра, изд-во "Мир",

Москва, 1968.-440с.

3.2. Модель физической системы:

1. Переносчики импульса: протоны и α -частицы ($T_p = 9.1 \cdot 10^6 \text{ К}$, $T_\alpha = 3.64 \cdot 10^7 \text{ К}$, $n_p = 7 \text{ (1/см}^3\text{)}$, $n_\alpha = 0.35 \text{ (1/см}^3\text{)}$).
2. Изотропность SW-потоков с $j_\alpha(E)$, определяемой (25).
3. Однородность атомной среды корпюскулы. Треки частиц прямолнейные.

4. Распространение SV-частицы в среде \sim движению классической частицы в среде с сопротивлением. Плотность потока частиц в среде определяется законом (23).
5. Кристалл водного льда характеризуется потенциалом решетки $\varphi_0 \approx 0.1$ В. Поле кристалла \Rightarrow потенциальная стенка высоты $U_0 = q\varphi_0$. Поверхность кристалла эквипотенциальная. Влиянием осцилляций электрического поля будем пренебрегать.

Коэффициенты отражения p_{1i}, p_{2i} из квантовой механики задачи о прохождении частицы над потенциальной стенкой высоты U_0 .

$$(26) \quad \left\{ \begin{array}{l} p_{1i}(\theta, E) = \left[\frac{1 - \sqrt{1 - U_{0i}/(E \cos^2 \theta)}}{1 + \sqrt{1 - U_{0i}/(E \cos^2 \theta)}} \right]_2, \quad \text{при } 0 \leq \theta < \theta_{max}^i \\ p_{2i}(\theta, E) = \left[\frac{1 + \sqrt{1 - U_{0i}/(E \cos^2 \theta)}}{1 - \sqrt{1 - U_{0i}/(E \cos^2 \theta)}} \right]_2, \quad \text{при } \theta_{max}^i \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \end{array} \right.$$

где $\theta_{max}^i = \arccos[\sqrt{U_{0i}/E}]$.

$$(27) \quad p_{2i}(\theta, E) = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + U_{0i}/(E \cos^2 \theta)}}{1 - \sqrt{1 + U_{0i}/(E \cos^2 \theta)}} \right]_2$$

3.3. Расчет силы и потенциала давления солнечного ветра

Основные этапы:

- Второй и третий законы Ньютона.
- Определение б.м. изменений импульса SW-частиц в пяти основных процессах.
- Интегрирование полученных характеристик по энергии и площади поверхности корпскулы.
- Определение силы SW-давления:

$$(28) \quad F_p = \sum_{z=2}^{z=1} \sum_{k=1}^{k=1} F_{kz}$$

где

$$F_{1z} = \Delta P_{1z} \Delta t = \frac{1}{12} \pi R_2^2 K_i U_{0z}^2 \int_{x_{max}^i}^{x_{min}^i} \frac{x^2}{1} \left[32 - \frac{1}{1+y_0} (1+y_0)^4 \right] + 38y_0 + 24y_0^2 + 6y_0^3 \left[+ \right.$$

$$(29) \quad \left. + 3 \ln \left[\frac{1+y_0}{1-y_0} \right] \right] e^{-\frac{x^2}{a^2}} dx,$$

$$(30) \quad x = \sqrt{\frac{U_{0z}}{E}} x_{min}^i = \sqrt{\frac{U_{0z}}{E_{max}^i}} x_{max}^i = \sqrt{\frac{U_{0z}}{E_{min}^i}} a_i = \frac{kT^{\oplus i}}{U_{0z}} y_0 = \sin(\arccos x)$$

$$\begin{aligned}
 \mathcal{F}_{2i} = -\frac{\Delta P_{z_i}^{(I)}}{\Delta t} = & 4\pi R_P^2 K_i U_{0i}^{\frac{2}{5}} \int_{x_i^{max}}^{x_i^{min}} \frac{x^6}{1} \left[\frac{4}{1} \left[1 - \sqrt{1-x_2} \right] - \frac{2}{x_2} \right] \times \\
 & \times \left[-\frac{7}{12} + \frac{8}{1} \ln \left[\frac{x}{1 + \sqrt{1-x_2}} \right] + \frac{3(1+y_0)^3}{1} \right] e^{-\frac{x_2}{a_i}} dx
 \end{aligned}
 \tag{31}$$

$$\begin{aligned}
 \mathcal{F}_{3i} = -\frac{\Delta P_{z_i}^{(abs)}}{\Delta t} = & 4\pi R_P^2 K_i U_{0i}^{\frac{2}{5}} \int_{x_i^{max}}^{x_i^{min}} e^{-\frac{x_2}{a_i}} \sum_{\theta_{[N]}^{B_i}}^{N=1} \int_{\theta_{[N-1]}^{B_i}}^{N=1} (1 - \rho_{1i}(\theta, x)) \cos \theta \sin \theta \times \\
 & \times \left[\frac{\sqrt{1-x_2}}{x_2} - \frac{x_6}{(N-1)f_i(R_P) \cos \psi} \right] \times \cos(\theta - \psi + (N-1)(\pi - 2\psi)) \prod_{j=1}^{N-1} \rho_{2i}(\psi, E^{[j]}) \times \\
 & \times d\theta dx + 4\sqrt{2}\pi R_P^3 \alpha_i K_i \sqrt{m_i} U_{0i}^2 \int_{x_i^{max}}^{x_i^{min}} \frac{x^5}{1} e^{-\frac{x_2}{a_i}} \sum_{\theta_{[N]}^{max}}^{N=1} \int_{\theta_{[N]}^{B_i}}^{N=1} (1 - \rho_{1i}(\theta, x)) \cos \theta \sin \theta \times \\
 & \times \cos \psi \cos(\theta - \psi + (N-1)(\pi - 2\psi)) \prod_{j=1}^{N-1} \rho_{2i}(\psi, E^{[j]}) d\theta dx,
 \end{aligned}
 \tag{32}$$

здесь

$$(33) \left\{ \begin{aligned} \rho_{1i}(\theta, x) = \rho_{1i}(\theta, E)|_{E \rightarrow U_{0i}/x^2}, \quad \psi = \arcsin \left[\sqrt{\frac{1-x^2}{1-x^2}} \sin \theta \right], \quad L_i = \frac{\sqrt{U_{0i}/2m_i}}{x \alpha R \cos \psi} \\ \theta_{max}^i = \arccos x, \quad E^{[j]} = \frac{U_{0i}^2}{x^2} \left[1 - \frac{2j\alpha_i R_P \cos \psi x}{c\sqrt{2U_{0i}/m_i c^2}} \right], \quad \theta^{[N]} = \arcsin(\sin \psi / n(E^{[N]})) \\ f_i(R_P) = \alpha_i R_P \sqrt{\frac{2m_i}{U_{0i}}}, \quad K_i = \frac{\sqrt{\pi}}{4} \left(\frac{r_P}{r_\oplus} \right)^2 \frac{n_{\oplus i} (kT_{\oplus})^{\frac{2}{3}}}{n_{\oplus i}^{\frac{2}{3}}}, \quad \theta^{[N]} = \arcsin \left[\frac{1}{n_i(E)} \sqrt{1 - \left(\frac{2NR_P n_i(E)\alpha_i}{v_0} \right)^2} \right] \end{aligned} \right.$$

$$F_{4i} = -\frac{\Delta P_{z_i}^{(ref)}}{\Delta t} = -4\pi R_2^P K_i U_{0i}^{\frac{5}{2}} \int_{x_i^{max}}^{x_i^{min}} e^{-\frac{x^2}{a_i^2}} \sum_{L_i}^{N=1} \int_{\theta^{[N]}}^{\theta^{[B_i]}} (1 - \rho_{1i}(\theta, x)) \cos \theta \sin \theta \times$$

$$\times \left[\frac{\sqrt{1-x^2}}{x^2} - \frac{x_5}{N f_i(R_P) \cos \psi} \right] \prod_{j=1}^N \rho_{2i}(\psi, E^{[j]}) \times$$

$$\times [\cos(\theta - \psi + N(\pi - 2\psi)) - \cos(\theta - \psi + (N-1)(\pi - 2\psi))] d\theta dx \quad (34)$$

$$F_{5i} = -\frac{\Delta P_{z_i}^{(out)}}{\Delta t} = -4\pi R_2^P K_i U_{0i} \int_{x_i^{min}}^{x_i^{max}} e^{-\frac{x_2}{a_i}} \sum_{L_i}^{N=1} \int_{\theta_i^{B_i}}^{\theta_i^{N_i}} (1 - \rho_{1i}(\theta, x)) \cos \theta \sin \theta \times$$

$$\times \left[\frac{\sqrt{1-x_2}}{x_2} - \frac{x_6}{N f_i(R_P) \cos \psi} \right] (1 - \rho_{2i}(\psi, E^{[N]})) \prod_{j=1}^{N-1} \rho_{2i}(\psi, E^{[j]}) \left[n_i(E^{[N]}) \times$$

$$\times \cos(\theta + \theta_i^{[N]} - 2\psi + (N-1)(\pi - 2\psi)) - \cos(\theta - \psi + (N-1)(\pi - 2\psi)) \right] d\theta dx. \quad (35)$$

Первичный анализ показывает:

№ Частицы	$f_{[1]}^{3i}$	$\frac{f_{[1]}^{1i}}{f_{[1]}^{3i}}$	$\frac{f_{[1]}^{2i}}{f_{[1]}^{3i}}$	$\frac{f_{[1]}^{2i}}{f_{[1]}^{3i}}$	$\frac{f_{[1]}^{2i}}{f_{[1]}^{3i}}$	$\frac{f_{[1]}^{4i}}{f_{[1]}^{3i}}$	$\frac{f_{[1]}^{5i}}{f_{[1]}^{3i}}$
i=1	$7.475 \cdot 10^{-23}$ Н	$3.9 \cdot 10^{-8}$	$4.6 \cdot 10^{-5}$	$1.3 \cdot 10^{-5}$	$4.2 \cdot 10^{-6}$	$3.5 \cdot 10^{-6}$	$-4.9 \cdot 10^{-5}$
i=2	$4.754 \cdot 10^{-24}$ Н	$3.2 \cdot 10^{-8}$	$7.3 \cdot 10^{-5}$	$5.2 \cdot 10^{-7}$	$3.5 \cdot 10^{-6}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	

Таблица 1: К определению лидирующего вклада в силу SW-давления при $R_P = 10^{-7}$ (м).

В ИТОГЕ

$$F_p \approx 4\pi R_2^2 \sum_{i=1}^2 K_i U_{0i}^{\frac{7}{2}} \int_{x_{min}^i}^{x_{max}^i} e^{-\frac{x}{a_i}} \frac{\sqrt{1-x^2}}{x^2} dx \int_{\theta_{B_i}^{[1]}}^0 (1 - \rho_{1i}(\theta, x)) \cos \theta \sin \theta \cos(\theta - \psi) d\theta dx + 4\sqrt{2}\pi R_3^2 \times$$

$$\times \sum_{i=1}^2 \alpha_i K_i \sqrt{m_i} U_{0i}^2 \int_{x_{min}^i}^{x_{max}^i} \frac{x^5}{x^2} e^{-\frac{x}{a_i}} dx \int_{\theta_{B_i}^{[1]}}^{\theta_{B_i}^{[1]}} (1 - \rho_{1i}(\theta, x)) \cos \theta \sin \theta \cos \psi \cos(\theta - \psi) d\theta dx, \quad (36)$$

• Определение потенциала

$$U_{SW}^d = r_P \cdot F_p^d \quad (37)$$

4. Численные результаты и сравнительный анализ

4.1. Сила светового давления

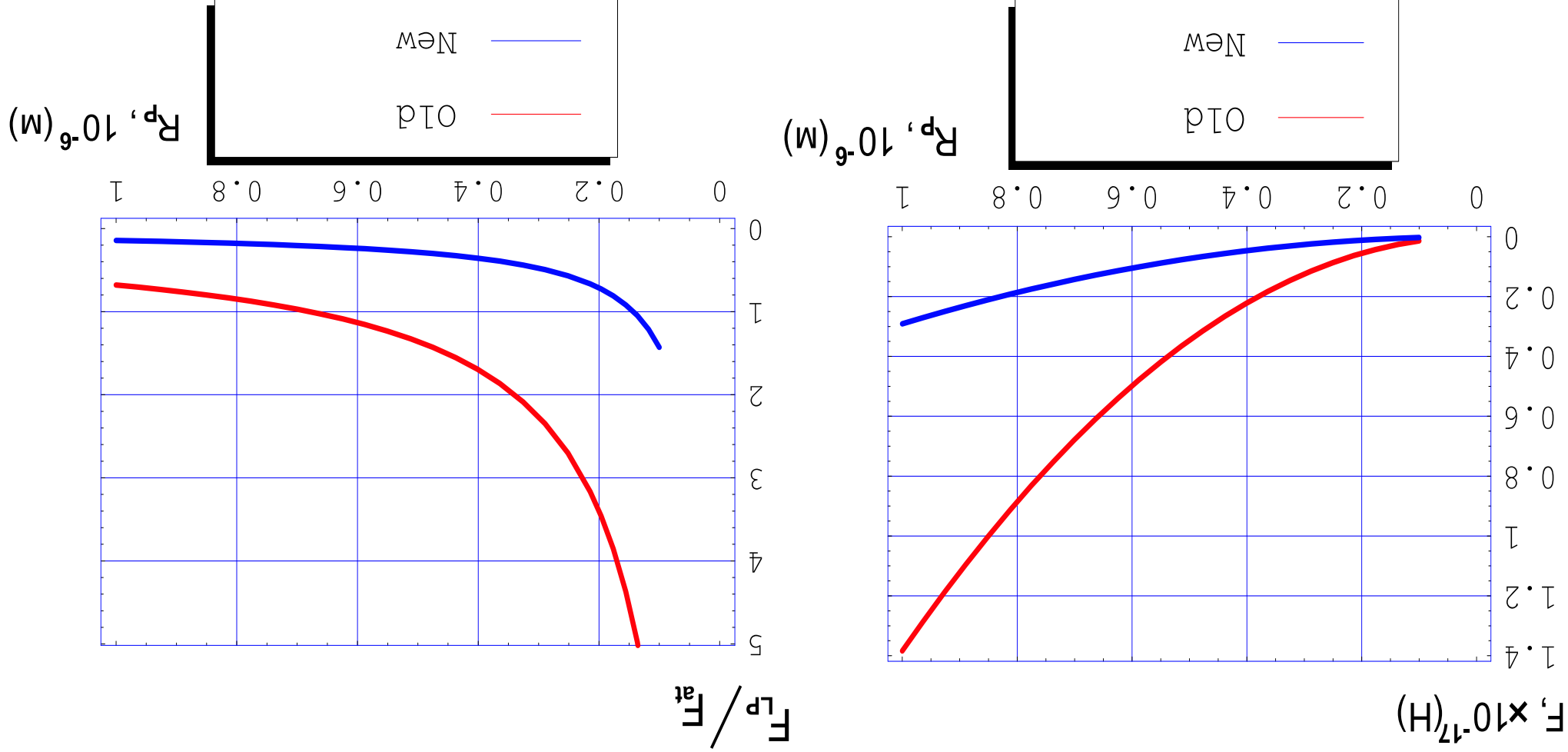
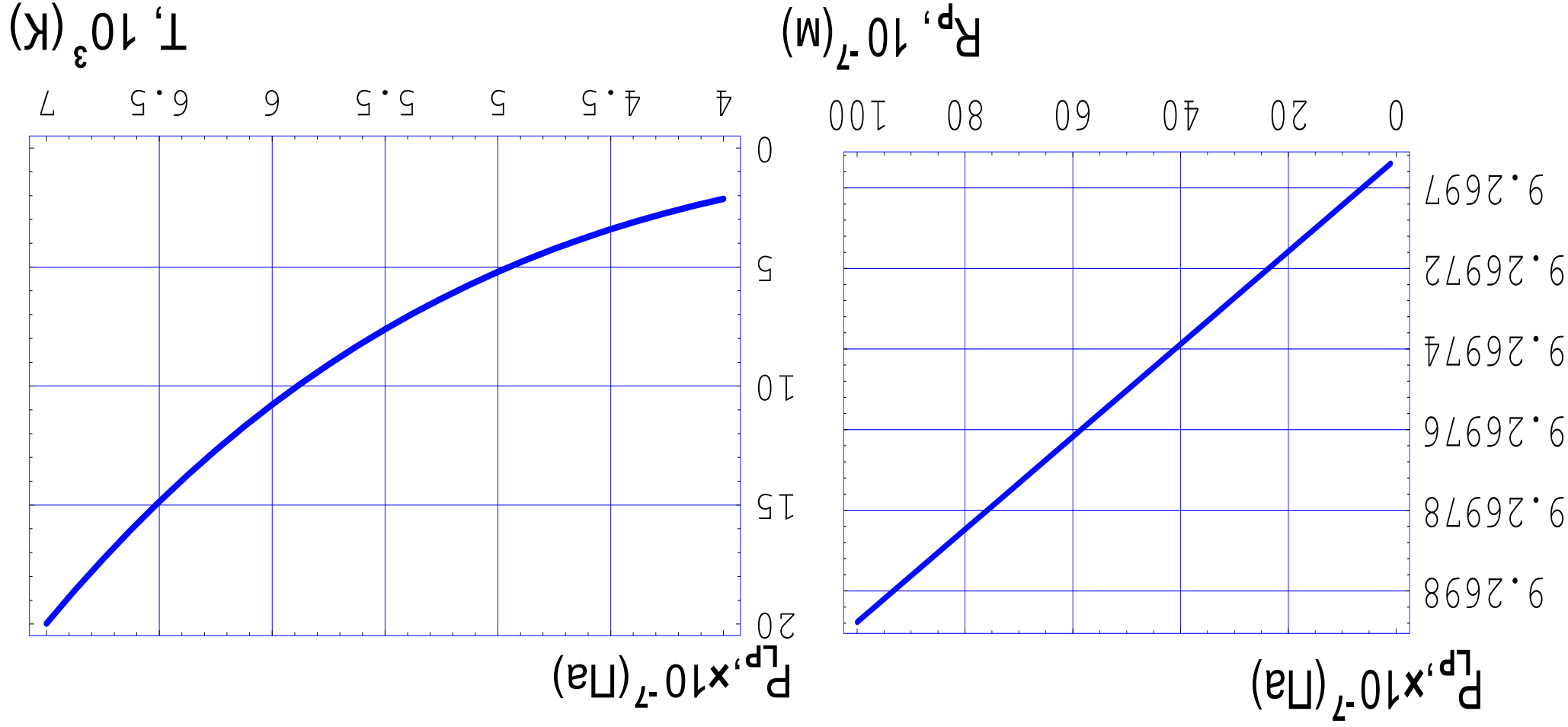


Рис. 1: $r_p = 1$ а.е., $\rho_{ice} = 820$ (кг/м³), $T_{\odot} = 5777$ К., $\kappa = 0.2$ (1/м), $n = 1.29$.

Рис. 2: $r_P = 1$ а.е., $p_{ice} = 820$ (кг/м³), $T_{\odot} = 5777$ К., $\kappa = 0.2$ (1/м), $n = 1.29$.



Сравнение с экспериментом

Световое давление

Согласно работе [4] П.Г. Куликовский Справочник любителя астрономии// под ред. В.Г. Сурдина, изд. 5-е, перераб. и полн. обновл.-М.: Эдиториал УРСС, 2002.-688с.

$$(38) \quad p_{exp} = 4.6 \cdot 10^{-6} \text{ (Па)}$$

Наши результаты

$$(39) \quad \text{В работе [5]: } p_{theory 1} = 4.41 \cdot 10^{-6} \text{ (Па) расхождение } 4.1\%$$

$$(40) \quad \text{в данной работе: } p_{theory 2} = 0.93 \cdot 10^{-6} \text{ (Па)}$$

[5] Ю.А. Снеткова Критический радиус частиц хвоста кометы как один из ключевых параметров в

описании эволюции кометы//

[http://www.astronet.ru/db/msg/1198166;](http://www.astronet.ru/db/msg/1198166)

<http://www.yurhil.front.ru/abstractpaper1.htm>, 45с.

Давление солнечного ветра

В работе [6] А.Д. Чертков Солнечный ветер и внутреннее строение Солнца// М.: Наука, 1985.-200с.

$$(41) \quad p_{exp} = (0.35 - 2.6) \cdot 10^{-9} \text{ (Па) предл изменение } 90\% \text{ данных.}$$

$$(42) \quad \text{В данной работе: } p_{theory} = 2.23 \cdot 10^{-9} \text{ (Па)}$$

5. Заключение

В данной работе:

- Получено аналитическое выражение для силы светового давления, действующей на сферическую частицу из водного льда на основе **разработанной модели № 1.**
- Получено аналитическое выражение для силы давления плазмы солнечного ветра, действующей на сферическую частицу из водного льда на основе **разработанной модели № 2.**

- Исследованы зависимости силы светового давления от радиуса частицы R_p , давления света от R_p и T_{\odot} . Проведен сравнительный анализ указанных силы с силой притяжения.

- Получены выражения для коэффициентов отражения фотонов и тяжелых заряженных частиц от кристалла водного льда на основе волновых представлений о материи. Явно определены спектральные плотности потоков указанных частиц в среде корпунклы.
- Полученные результаты могут быть использованы при высокоточном вычислении законов движения корпунклы хвоста кометы, для исследования физических характеристик как самой кометы, так и близких окрестностей Солнечной системы, Солнца.

Благодарности

Авторы выражают **большую благодарность** за информационную поддержку, подготовку-ные дискуссии и ценные критические замечания преподавателям кафедры ОТФ СамГУ, в особенности кандидату ф.-м. наук, ст. преп. кафедры ОТФ СамГУ **Воробьевой Э.Н.**, кандидату ф.-м. наук, доценту кафедры ОТФ СамГУ **Цировой И.С.**, а также доктору физ.-мат. наук, вед. науч. сотруднику отдела исследований Солнца КРАО **Котову В.А.**