ФИЗИКА

УДК 629.7

ОБ УРАВНЕНИЯХ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛА ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТИ ОТБРАСЫВАНИЯ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ В ПРЕДПОСЫЛКАХ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

© 2022 г. У. Н. Закиров[1,*]

Представлено академиком РАН Р.З. Сагдеевым 03.12.2021 г.
Поступило 07.12.2021 г.
После доработки 26.01.2022 г.
Принято к публикации 09.06.2022 г.

У космического тела переменного состава постулируется управляемая (переменная) скорость истечения массы, вырабатываемая механизмом использования внутренней энергии. На основе этого постулата выводятся уравнения динамики в отсутствие внешних сил в рамках специальной теории относительности, решение которых позволяет изучать актуальные задачи в ракетодинамике и астрофизике во всем физическом диапазоне скоростей движения.

Ключевые слова: скорость истечения, специальная теория относительности, четырехмерная скорость, параметр управления k

DOI: 10.31857/S2686740022060165

В работах [1, 2] были представлены уравнения движения космического тела переменного состава при постоянной скорости отбрасываемых продуктов сгорания. В настоящем сообщении рассматривается случай переменной скорости истечения, приводящий к уточненной формуле движения космического тела в специальной теории относительности (СТО), в частности, к аналогу формулы Циолковского. Решение Циолковского сыграло и еще играет значительную роль в создании научной базы мировой космонавтики; оно было сформулировано на базе ньютоновской механики. Однако возникновение нехимических с ядерным содержанием движителей требует уточнения и перехода к специальной теории относительности, в которой постулируется метрическое аффиносвязанное пространство — четырехмерное плоское псевдоэвклидово пространство [3].

Как отмечал Л.И. Седов [4], с динамической точки зрения нельзя признать реалистичным постоянство скорости истечения; более того, по его убеждению, "регулированием скорости истечения за конечное время в системе наблюдателя в принципе возможен разгон космического тела до скорости света, происходящий за конечное время в системе наблюдателя". Исходя из этого мы постулируем функционал $\frac{V_{\text{ист}}}{c}$ в виде

$$\frac{V_{\text{ист}}}{c} = \left(\frac{V_{\text{ист}\,k}}{c}\right)\left(1 - k\sum_{n=1}\left(\frac{m(t)}{m_o}\right)^{2n-1}\right). \quad (1)$$

Для простоты примем $n = 1$:

$$\frac{V_{\text{ист}}}{c} = \left(\frac{V_{\text{ист}\,k}k}{c}\right)\left(1 - k\frac{m(t)}{m_o}\right). \quad (2)$$

Здесь при полном выгорании тела, когда материя превращается в поток фотонов, $\frac{m(t)}{m_o} \to 0$, $\frac{V_{\text{ист}\,k}}{c} \to 1$; в начальный момент при $\frac{m(t)}{m_o} = 1$ параметр k может характеризовать свойства исследуемого тела, $\frac{V_{\text{ист}}}{c} = \left(\frac{V_{\text{ист}\,k}}{c}\right)(1 - k)$.

Используя постулаты СТО, а также гипотезу Мещерского—Папапетру о контактном взаимодействии из закона сохранения четырех импульсов в системе отсчета внешнего наблюдателя в

[1] *Институт механики и машиностроения Федерального исследовательского центра "Казанский научный центр Российской академии наук", Казань, Россия*
**E-mail: zakirural@mail.ru*

Таблица 1

m/m_o	0.9	0.8	0.6	0.5	0.3	0.1
v/c	0.104	0.22	0.47	0.60	0.83	0.98

отсутствие внешних сил следует записать уравнение [5]:

$$V^{\gamma}\frac{dm}{ds}+m\frac{dV^{\gamma}}{ds}=A^{\gamma}\frac{dm^{\times}}{ds}, \tag{3}$$

где $ds^2 = c^2dt^2-(dx^1)^2-(dx^2)^2-(dx^3)^2$, $V^k = \left(\frac{\frac{dx^k}{dt}}{c}\right)\Big/\left(1-\frac{v}{c}\right)^{1/2}$ – скорость тела, $V^o=\left(\frac{1}{1-\frac{v}{c}}\right)^{1/2}$, A^{γ} – четырехмерная скорость выхлопа; $\frac{dm^{\times}}{ds}$ – скорость изменения массы выхлопа. Умножая (3) скалярно на ковариантную скорость V_{γ}, имеем

$$\frac{dm^{\times}}{ds}=\left(\frac{dm}{ds}\right)/(V^{\gamma}A_{\gamma}). \tag{4}$$

Подставляя (4) в (3), получим

$$\frac{dV^{\gamma}}{ds}=\left(\frac{A^{\gamma}}{|V^{\gamma}A_{\gamma}|-V^{\gamma}}\right)\left(\frac{dm}{ds}\right)/m. \tag{5}$$

Используя преобразования Лоренца, правила сложения скоростей Эйнштейна, получим уравнение

$$\frac{dV^{\gamma}}{ds}=\left(\frac{V^{\gamma}_{\text{ист}}}{c}\right)\left(\frac{dm}{ds}\right)\Big/\left(1-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right)^{1/2}m. \tag{6}$$

Для простоты рассмотрим одномерную кинематику

$$\begin{gathered}\frac{dV}{ds}=\left(\frac{v_{\text{ист}}}{c}\right)\left(\frac{dm}{ds}\right)\Big/\left(1-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right)^{1/2}m,\\ V=\left(\frac{v}{c}\right)\Big/\left(1-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right)^{1/2}.\end{gathered} \tag{7}$$

Подставим в (7) выражение (2):

$$\begin{gathered}d\left(\frac{v}{c}\right)\Big/\left(1-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right)^{1/2}/ds=\\ =\left[\left(\frac{v_{\text{ист}k}}{c}\right)\left(1-k\frac{m(t)}{m_o}\right)\right]\left(\frac{dm}{ds}\right)\Big/\left(1-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right)^{1/2}m.\end{gathered} \tag{8}$$

После интегрирования (8) получим окончательный результат:

$$\begin{gathered}\text{при}\quad \frac{dm}{ds}<0\quad \frac{v}{c}=\left\{1-\frac{1-\frac{v_0}{c}}{1+\frac{v_0}{c}}\left(\frac{m(t)}{m_o}\right)^2 e^{2r(1-m/m_o)}\right\}\Big/\\ \Big/\left\{1+\frac{1-\frac{v_0}{c}}{1+\frac{v_0}{c}}\left(\frac{m(t)}{m_o}\right)^2 e^{2r(1-m/m_o)}\right\}.\end{gathered} \tag{9}$$

При $\frac{m}{m_o}\to 0$ $\frac{v}{c}=\left(\frac{v_{\text{ист}k}}{c}\right)=1$, при $\frac{m}{m_o}=1$ $\frac{v}{c}=0$.

В табл. 1 для примера приводится иллюстрация формулы (9), $k = 0.01$.

Подводя итоги, следует отметить, что выбор модели истечения и полученное решение могут быть связаны с задачами оптимизации движения космического тела при больших скоростях, в задачах инерциальной навигации, а также в изучении астрофизики тел с переменной массой в космологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Закиров У.Н.* Механика релятивистских космических полетов. М.: Наука, 1984.
2. *Закиров У.Н.* Релятивистская механика для инженеров. Казань: КФУ, 2020.
3. *Эйнштейн А.* Сущность теории относительности. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1955.
4. *Седов Л.И., Цыпкин А.Г.* Основы макроскопических теории гравитации и электромагнетизма. М.: Наука, Главная ред. физ.-мат. лит., 1989.
5. *Закиров У.Н.* Уравнения движения космического тела переменного состава в предпосылках теории относительности // ДАН СССР. 1980. Т. 254. № 1. С. 50–52.

ABOUT EQUATIONS OF A SPACE BODY MOTION WITH DISCARDING COMBUSTION PRODUCTS VARIABLE SPEED IN THE PREREQUISITES OF A SPECIAL THEORY OF RELATIVITY

U. N. Zakirov[a]

[a] *Institute of Mechanics and Engineering of FIC KazSC of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia*

Presented by Academician of the RAS R.Z. Sagdeev

In the report, a controlled (variable) speed of mass outflow generated by the internal energy utilization mechanism is postulated for a space body with a variable composition. On the basis of this postulate, equations of dynamics in the absence of external forces are derived within the framework of the special relativity theory, such solution gives possibility to investigate the crucial problems of rocket dynamics and astrophysics in the entire physical range of motion speeds.

Keywords: outflow speed, special theory of relativity, four-velocity, *k* control parameter