

В. Циолковский

**Сопротивление воздуха и
скорый поезд**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
В11

В11 **В. Циолковский**
Сопротивление воздуха и скорый поезд / В. Циолковский – М.: Книга
по Требованию, 2016. – 74 с.

ISBN 978-5-458-58146-2

ISBN 978-5-458-58146-2

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2016

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2016

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

В середине страницы 9, вместо чисел 16 и $7\frac{1}{2}$, надо 4 и 2.

Немного ниже середины стр. 109 мой вывод, „значит труба есть сосуд, содержащий полкило вещества“... неверен. Но заключение о малой массе взрывной трубы правильно.

Главные опечатки: „Вне земли“ На 84 стр. 13 стк. снизу надо: отрицает свод, а не свет. Стр. 108, 20 стк. сверху надо: **корню** зачеркнуть.

Грубые опечатки в „Образовании солнечных систем“: последняя дробь форм. 18 должна быть $\frac{Рсп_1}{Рс_1}$

В форм. 21 и 22, к первой дроби надо приставить множитель (Вр), как в форм. 19 и 20.

В таблице (стр. 26, стк. 6) надо: **увеличенное** в 10^3 . Внизу 31 стр. надо: **порождение**. Выше середины стр. 33 надо: **определения**, а не употребления.

Адрес: Калуга, Жорес, 3. Циолковскому.

О т г о л о с к и .

Приветствие к кружкам по исследованию и завоеванию мирового пространства

академика Д. А. Граве.

Товарищи! Эти кружки встречают несколько скептическое к себе отношение во многих общественных кругах. Людям кажется, что дело идет о фантастических необоснованных проектах путешествий по межпланетному пространству в духе Жюль-Верна, Уэльса, Фламмариона и других романистов.

Профессиональный ученый, напр., академик, конечно, не может стоять на такой точке зрения. Мое сочувствие к вашим кружкам покоится на серьезных соображениях. Уже 5 лет тому назад я указывал.. на необходимость использовать электромагнитную энер-

гию Солнца... Единственный способ практического подхода к этому намечен русским ученым К. Э. Циолковским — при помощи реактивных приборов или межпланетных аппаратов, которые... являются реальной действительностью завтрашнего дня.

Так что организация данных кружков своевременна и целесообразна, а также и развитие конструкций межпланетных аппаратов. А потому всякого рода начинания в этой области я приветствую от души и желаю успеха и плодотворной работы в развитии новой области техники на благо человечества.

14 июня, 1925 г.

Д. А. Граве.

От Ассоциации Изобретателей.

5 февр. 1927 г. (Москва, Тверская, 68).

К. Э.! Благодарим Вас за присланные ваши книги и открытку, дающую нам знать, что жив еще работник и также бодрствует его творческий гений.

Всматриваясь в мировую даль, он глядит, не видно ли и не слышно ли приближающейся помощи, успеет ли он еще, при короткой биологической жизни, узреть реализованными его надежды и беспокойство духа, которые перенесли его в мировой простор дальше всех других. Он поджидает, скоро ли по этому, проложенному им, звездному пути люди поймут, что сделано для них и пронесутся молнией на ракете, вонзаясь в небесное пространство.

Громадная литература еще раз подчеркнула значение этой отрасли исследования мировых пространств реактивными приборами. Она показала, как важны и всеобъемлющи ваши труды... уже расброшенные по всему миру учеными и популяризаторами всех стран..., что и послужило импульсом к созданию нами мировой выставки...

* *

Кроме лиц, указанных мне Шершевским (см. мое „Исследование...“ 26 г.), Валье сообщает выставочному

комитету еще на ряд ученых и популяризаторов, работавших и работающих в Германии над задачей небесных путешествий с помощью реактивных приборов. Именно:

1881 г. **Герман Гансвит**, Берлин (одновременно с ним, как известно, работал наш Кибальчич).

1897 г. **Д-р Франц Гефт**, Вена.

1901 г. **Инженер Улинский**, Верхняя Австрия.

1914 г. **Инж. А. Дитли**, Швейцария.

В последнее время: **Гофман**, Германия. Даже скромный и гениальный **И. Ньютон** (в 17 стол.) не находил ничего невозможного в межпланетных путешествиях.

* *

Кибальчич и другие, ранее его, даже с незапамятных времен, с тех пор, как изобретена была ракета, думали применить ее к полетам в воздухе. Но вот нерешенный вопрос: кто первый занялся применением реактивного принципа к заатмосферным путешествиям и кто дал первые серьезные расчеты и доказательства о возможности межзвездных полетов! Сказать же, что на большой ракете можно слетать на Луну или Марс и нарисовать подобие ракеты еще не большая заслуга.

* *

У меня имеются следующие труды: **Монизм вселенной**, **Причина космоса**, **Образование солнечных систем**, **Исследование мировых пространств реактивными приборами**, **Нирвана**, **Воздушный транспорт**, **Таблица дирижаблей**, **Гондола мет. дириж.**, **Дополнительные техн. сведения о мет. дириж.**, **Горе и гений**, **Простейший проент метал. дириж.**, **Богатства вселенной**, **Кинетическая теория света**.

Другие издания у меня находятся в таком ограниченном количестве, что я рассылаю их только в исключительных случаях. Наконец, большинство работ рассеяно по журналам и у меня у самого их нет.

Мой адрес: **Калуга, Жорес, 3**. Для иностранцев:
L'adresse: Russie (U. d. S. S. R.), Kaluga, Ciolkowsky.

I. Сопротивление воздуха.

Опытные (эмпирические) формулы, выведенные мною и другими, недостаточны, потому что относятся к небольшим скоростям и не очень длинным поверхностям.

В пределах опыта и немного далее они хороши, но для длинных тел и небывалых скоростей применение их может дать сомнительные результаты.

Попытаемся тут привести теоретические формулы трения и сопротивления птицеподобных тел, пригодные для любых скоростей и больших поверхностей.

Сопротивление воздуха от трения. Вообще все вычисления в этой статье только **приблизительны**. Основы их — метр и производные практические единицы, которые иногда, для удобства, я перевожу на более мелкие или крупные.

Имеем поверхность прямоугольника шириною в (Ш), длиною в (Дл), которая мчится по направлению своей длины со скоростью (Ск). Будем определять трение **одной** его стороны. Слой воздуха, приведенный в движение трением в течение одной секунды, будет иметь вид тонкого прямоугольника с площадью:

$$1... \text{Пов} = \text{Ш} \cdot \text{Ск}.$$

Масса этого воздушного слоя будет:

$$2... \text{М} = \text{Ш} \cdot \text{Ск} \cdot \text{Тщ} \cdot \text{Плв},$$

где (Тщ) есть средняя толщина прилипшего к поверхности и увлекаемого ею слоя воздуха со скоростью (Ск). Затраченная на это работа, в практич. единицах, выразится:

$$3... \text{Рб} = \text{М} \cdot \frac{\text{Ск}^2}{2\text{Уз}} = \frac{\text{Ш}}{2\text{Уз}} \cdot \text{Ск}^3 \cdot \text{Тщ} \cdot \text{Плв};$$

тут. (Уз) есть ускорение земной тяжести. Толщина увлекаемого слоя зависит от времени, в течение которого движущаяся поверхность действовала на какую

либо часть прилегающего воздуха, от свойства газа и его температуры и от свойства поверхности. Последними двумя влияниями мы пренебрежем. Время действия плоскости на определенную часть проходимого воздуха пропорц. длине поверхности и обратно скорости ее. Очевидно, оно равно:

$$4... \text{Вр} = \text{Дл} : \text{Ск.}$$

Напр., при длине и скорости в 1 метр это время составляет одну секунду. При скорости вдвое большей — полсекунды, а при поверхности в 10 метров — 10 секунд.

Из моих опытов видно, что при длине в 1 метр и такой же скорости — средняя толщина прилипшего слоя составляет менее одного сантим (0,84 с.). (См. мой отчет Всесоюзной Академии Наук 1900 г.).

Если длина и скорость увеличатся в одинаковое число раз, то толщина прилипшего газа останется та же, так как **время** действия трения на любую часть прислоненного к поверхности воздуха останется без изменения: значит, слой его по прежнему не превысит сантиметра. Разница только будет в скорости: чем она больше, тем и увлекаемый слой движется быстрее и, конечно, сопротивление от этого будет возрастать в квадрате, а секундная работа — в кубе.

Так обстоит дело, если **скорость поверхности и длина ее выражаются одним числом метров**. В таком случае имеем:

$$4... \text{Тщ} = \text{Тщ}_1 \text{ и } 5... \text{Ск} = \text{Дл.}$$

Работа в секунду равна:

$$6... \text{Рб} = \text{Соп} \cdot \text{Ск},$$

где (Соп) означает сопротивление воздуха от трения. Теперь из 3, 4, 5 и 6 получим:

$$7... \text{Соп} = \frac{\text{Ш}}{2\text{У}_3} \cdot \text{Тщ}_1 \text{ Илв } \text{Ск}^2 = \frac{\text{Ш}}{2\text{У}_3} \cdot \text{Тщ}_1 \text{ Илв. Дл}^2.$$

Тут скорость и длина пластинки связаны обязательным равенством. Тогда (Соп) выразит величину трения любой поверхности, движущейся с любой скоростью. Трение, приходящееся на единицу площади, будет:

$$8... \frac{T_{ш1}}{2Уз} \cdot \text{Плв Дл} = \frac{T_{ш1}}{2Уз} \cdot \text{Плв.Ск},$$

т.-е. оно пропорционально длине пластинки или ее скорости. Сопротивление плоскости, при движении ее по нормали к ней, будет:

$$9... \text{Спл} = \text{Дл.Ш.Плв} \cdot \frac{\text{Ск}^2}{2Уз} \text{ Кп},$$

где (Кп) есть поправочный коэффициент, в среднем, близкий к 1,5. Сравним это сопротивление с трением (7). Увидим, что трение меньше во столько раз:

$$10... \frac{\text{Дл} \cdot \text{Кп}}{T_{ш1}} = \frac{\text{Ск} \cdot \text{Кп}}{T_{ш1}},$$

т.-е. сопротивление нормальное больше трения одной стороны во много раз (особенно при большой скорости движения и, конечно, длинной плоскости). Если, напр.,

$$\text{Ск} = \text{Дл} = 10; \text{Кп} = 1,5; T_{ш1} = 0,0084;$$

то трение будет меньше в 178,6 вообще, в (178,6 Ск). Так при скорости или длине в один метр трение меньше в 178 раз.

Каково же будет трение, если нет числового равенства между скоростью пластинки и ее длиной? В этом случае из (3) и (6) имеем:

$$11... \text{Соп} = \frac{\text{Ш}}{2Уз} \cdot \text{Ск}^2 \cdot \text{Тщ} \cdot \text{Плв}$$

Здесь толщина уже может быть и больше и меньше одного сантим., смотря по времени действия пластинки на воздух: это уже величина переменная. Она находится в какой то зависимости от времени и, разумеется, увеличивается одновременно с ним. Если бы толщина

прилипшего слоя газа была пропорц. времени (см. 4) действия на него площади, то сопротивление выразилось бы простой формулой (из 11 и 13):

$$12... \text{Соп} = \frac{\text{Тщ}_1}{2\text{Уз}} \cdot (\text{Ш} \cdot \text{Дл}) \cdot \text{Плв} \cdot \text{Ск},$$

так как тогда бы:

$$13... \text{Тщ} = \text{Тщ}_1 \cdot \left(\frac{\text{Дл}}{\text{Ск}} \right) \text{ (см. 11 и 4).}$$

Тогда бы трение было пропорц. поверхности пластинки и скорости его движения.

Но никак нельзя считать, что толщина увлекаемого слоя воздуха пропорциональна времени (4). С увеличением его эта толщина возрастает гораздо медленнее, чем время. Наоборот, с уменьшением его эта толщина (Тщ) убывает не так быстро, как время. Означим влияние времени (4) на толщину слоя через функцию времени Ft (Вр) или проще — через Ft . Теперь мы можем написать:

$$14... \text{Тщ} = \text{Тщ}_1 \cdot \text{F}(\text{Вр}) = \text{Тщ}_1 \cdot \text{F}\left(\frac{\text{Дл}}{\text{Ск}}\right) = \text{Тщ}_1 \cdot \text{Ft}$$

Указатель (t) намекает, что функция (зависимость) относится к трению. Теперь из этого и 11 найдем:

$$15... \text{Соп} = \text{Ст} = \frac{\text{Ш}}{2\text{Уз}} \cdot \text{Плв} \cdot \text{Тщ}_1 \cdot \text{Ft} \cdot \text{Ск}^2,$$

т.е. вообще сопротивление от трения ($\text{Соп} = \text{Ст}$).

Коэфф. трения показывает величину трения по отношению к сопротивлению такой же плоскости, движущейся с такой же скоростью по направлению своей нормали. По (9), найдем такой коэфф. (Кт):

$$16... \text{Кт} = \text{Ст} : \text{Спл} = \frac{\text{Тщ}_1 \cdot \text{Ft}}{\text{Кил} \cdot \text{Дл}}$$

Значит коэф. уменьшается с длиной плоскости и медленно увеличивается с возрастанием этой длины (Ft).

Нагляднее всего есть величина, обратная коэффициенту. Она показывает, во сколько раз нормальное сопротивление пластинки больше трения **одной** ее стороны. Имеем:

$$17... \quad 1 : K_t = \frac{K_{пл. Дл}}{T_{ш.} \cdot F_t}$$

Некоторые соображения показывают, что, приблизительно, когда отношение (Дл:Ск) больше единицы (напр., для дирижаблей и **очень** длинных поездов), то

$$18... \quad F_t = 1 + Le \left(\frac{Дл}{Ск} \right),$$

где (Le) означает натуральный логарифм. Если же отношение (Дл:Ск) меньше единицы (напр., для моделей, аэропланов и автомобилей), то функция времени будет:

$$19... \quad F_t = 1 : \left\{ 1 + Le \left(\frac{Ск}{Дл} \right) \right\}$$

Обе формулы можно выразить одной так:

$$20... \quad F_t = \left\{ 1 \pm Le \left(\frac{Дл}{Ск} \right) \right\}^{\pm 1}$$

Первый знак относится к дирижаблям, второй — к автомобилям. На этом основании, можем дать в следующей таблице (21) **обратные** коэффициенты трения.

Средняя толщина (Тш) прилипающего воздушного слоя, по моим опытам (отчет Акад. Наук 1900 г.). Он находится у проф. И. В. Стацкевича и у меня — в черновике), составляет около 0,0084 (менее сантим.). Она немного зависит от температуры и состояния поверхности, но мы этими влияниями пренебрежем. $K_{пл} = 1,5$ (среднее между крайними экспериментами). Следоват.,

$$22... \quad 1 : K_t = 178,6 \cdot \frac{Дл}{F_t}$$

Это даст нам возможность составить таблицу 21.

1 : Кт = 180. Дл. : F.

Таблица 21.

Ско- рости.	Д				Л				И				Н				Ы.			
	1	3	5	7	10	15	20	30	50	70	100	150	200	300						
1	180	257	345	427	545	728	900	1227	1833	2400	3214	4490	5714	8896						
3	378	540	596	681	818	1035	1241	1636	2363	3036	3996	5472	6923	9643						
5	470	815	900	940	1065	1285	1512	1935	2727	3462	4500	6137	7676	10610						
7	531	999	1206	1260	1324	1534	1759	2204	3030	3818	4914	6650	8276	11345						
10	594	1190	1520	1710	1800	1930	2130	2570	3448	4271	5454	7278	9000	12270						
15	668	1410	1890	2220	2520	2700	3310	3195	4091	4961	6210	8181	10280	13500						
20	720	1566	2142	2583	3040	3455	3600	3860	4687	5600	6894	8940	10910	14555						
30	793	1782	2511	3093	3780	4560	5040	5400	5960	6811	8154	10345	12410	16360						
50	884	2058	2970	3737	4700	5950	6910	8154	9000	9403	10656	12860	15120	19360						
70	945	2241	3276	4158	5310	6885	8100	9990	12060	12600	13230	15340	17560	21950						
100	1008	2434	3600	4610	5940	7830	9400	11900	15210	17098	18000	19285	21300	25710						
150	1082	2652	3960	5122	6680	8910	10840	14100	18900	22201	25290	27000	28125	31950						
200	1134	2808	4221	5484	7002	9695	11880	15660	21500	25830	30420	34560	36000	38575						
300	1206	3024	4582	5995	7920	10800	13360	17820	25110	30933	37800	45630	50580	54000						
500	1300	3305	5040	6638	8888	12177	15192	20574	29700	37420	46980	59400	69120	81540						
700	1359	3483	5346	7056	9450	13041	16380	22410	32760	41580	53100	68580	81000	99900						
1000	1424	3677	5670	7510	10080	14040	17676	24354	36000	46110	59400	78300	93960	119000						

14... $T_{ш} = T_{ш} \cdot F$.

Таблица 21.

Средняя толщина приставшего воздушного слоя, в миллиметрах.

Скорости.	Д																			
	1	3	5	7	10	15	20	30	40	50	60	70	100	150	200	300	400	500	700	1000
1	8,4	17,6	21,8	24,4	27,7	31,1	33,6	37,0	39,5	41,2	42,8	44	47	50	53	56	58	60	63	66
3	4,0	8,4	12,6	15,1	18,5	21,8	24,4	27,7	30,2	31,9	33,6	35	38	41	44	47	49	51	54	57
5	3,2	5,5	8,4	10,9	14,3	17,6	20,2	23,5	26,0	27,7	29,4	30	34	37	39	43	45	47	50	53
7	2,9	4,5	6,2	8,4	11,3	13,17	2,20	6,23	0,24	8,26	4,28	30	34	37	40	42	44	44	47	50
10	2,5	3,8	4,9	6,2	8,4	11,7	14,3	17,6	20,1	21,8	23,5	24	28	31	34	37	40	41	44	47
20	2,1	2,9	3,5	4,1	5,0	6,6	8,4	11,7	14,3	15,9	17,6	19	22	25	28	31	33	35	38	41
30	1,9	2,5	3,0	3,4	4,0	5,0	6,0	8,4	10,9	12,6	14,3	15	18	22	24	28	30	32	35	38
50	1,7	2,2	2,5	2,9	3,2	3,8	4,4	5,5	6,8	8,4	10,1	11	14	18	20	24	26	28	31	34
100	1,5	1,9	2,2	2,4	2,6	3,0	3,4	4,0	4,4	5,0	5,5	6,2	8,4	10,8	14	18	20	22	25	28
200	1,3	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,5	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	5	6,5	8,4	12	14	16	19	22
300	1,2	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	4	5	6	8,4	11	13	15	18
500	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,7	2,8	3,2	3,8	4,4	5,6	6,8	8,4	11	14
700	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	2,9	3,3	3,7	4,6	5,3	6,3	8,4	11
1000	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,9	3,2	3,8	4,4	4,9	6,2	8,4