



**Задачи**  
**для юного**  
**космонавта**



А. В. РОТАРЬ

# ЗАДАЧИ для ЮНОГО КОСМОНАВТА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОСВЕЩЕНИЕ»  
МОСКВА 1965

## ОТ АВТОРА

С космосом знакомятся по-разному.

Одни узнают о нем из художественной литературы, газет, радио и телевизионных передач. Тем самым они находятся в курсе событий и не претендуют на большее.

Другие хотят знать не только, что и как происходит в космосе, но и почему, в силу каких закономерностей явления протекают так, а не иначе. Таким можно рекомендовать, например, книгу К. А. Гильзина «Путешествие к далеким мирам», Детгиз, 1960.

Третьи не удовлетворяются и этим. Они ценят задачу за возможность самому испытать силы, не спешат заглянуть в ответы школьного задачника, умеют за скупыми формулами увидеть красоту и романтику. Им мы и адресуем собранные здесь задачи.

Их решение не потребует от читателя знаний, выходящих за пределы школьной программы. Задачи первой главы доступны учащимся восьмилетней школы, вторая и третья рассчитаны на учащихся старших классов.

В тексте задач, как правило, не хватает данных. Их следует искать на первых страницах книги.

Автор будет признателен читателям за отзывы, советы и пожелания, которые просит посылать по адресу: Москва, Г-117, ул. Бурденко, д. 13/5, кв. 11.

Рецензенты:

*Р. Г. Перельман*

*В. П. Демкович*

# **НЕКОТОРЫЕ СПРАВОЧНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

## **ДАННЫЕ О СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ**

Название небесного тела	Среднее расстояние от Солнца		Средний диаметр, км	Масса по сравнению с массой Земли	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Период обращения вокруг оси	Период обращения вокруг Солнца в годах
	в млн. км	в астр. ед.					
Солнце . . .	—	—	1 390 000	332 000	1,4	25 сут	—
Меркурий . .	58	0,387	4 800	0,05	5,5	88 сут	0,241
Венера . . .	108	0,728	12 400	0,81	4,9	≈ 10 сут	0,615
Земля . . .	150	1,000	12 740	1,00	5,5	23 ч 56 мин	1,000
Марс . . .	228	1,52	6 700	0,11	4,0	24 ч 37 мин	1,881
Юпитер . . .	778	5,20	140 000	318	1,3	9 ч 50 мин	11,86
Сатурн . . .	1430	9,54	115 000	95	0,7	10 ч 14 мин	29,4
Уран . . .	2870	19,2	48 000	15	1,3	10,7 ч	84,0
Нептун . . .	4500	30,1	46 000	17,2	1,6	15,8 ч	165
Плутон . . .	5930	39,6	12 000?	1?	5?	?	250?

## **НЕКОТОРЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

Масса Земли . . . . .	$6 \cdot 10^{24}$ кг
Масса Солнца . . . . .	$2 \cdot 10^{30}$ кг
Масса Луны . . . . .	$7,3 \cdot 10^{22}$ кг
Среднее расстояние от Земли до Луны . . .	384 400 км
Период обращения Луны вокруг Земли . . .	27,3 сут
Диаметр Луны . . . . .	3480 км
Ускорение силы тяжести на поверхности Земли . . . . .	9,8 м/сек <sup>2</sup>
Гравитационная постоянная . . . . .	$\frac{1}{1,5 \cdot 10^{10}}$ н · м <sup>2</sup> · кг <sup>-2</sup>
Скорость распространения света и радиоволн в пустоте . . . . .	$3 \cdot 10^8$ км/сек
Скорость распространения звука в воздухе при 20°С . . . . .	340 м/сек

**ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ  
ЗАДАЧ ЭТОГО СБОРНИКА**

**Математика**

В треугольнике со сторонами  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и с соответственно противоположными углами  $A$ ,  $B$ ,  $C$  справедливы соотношения:

$$a > b - c \quad (1)$$

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A \quad (2)$$

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} \quad (3)$$

Для прямоугольного треугольника ( $C = 90^\circ$ ) справедливы формулы:

$$c^2 = a^2 + b^2 \quad (4)$$

$$a = c \sin A \quad (5)$$

$$a = c \cos B \quad (6)$$

$$a = b \operatorname{tg} A \quad (7)$$

$$a = b \operatorname{ctg} B \quad (8)$$

Для окружности радиуса  $R$  (или диаметра  $D$ ), имеющей длину  $C$  и ограничивающей площадь  $S$ , выполняются равенства:

$$C = 2\pi R = \pi D \quad (9)$$

$$S = \pi R^2 = \frac{\pi D^2}{4} \quad (10)$$

Если центральный угол  $\alpha$  (измеренный в радианах) стягивает дугу длиной  $l$  и ограничивает в круге площадь  $S$ , то справедливы равенства:

$$l = R\alpha \quad (11)$$

$$S = \frac{Rl}{2} \quad (12)$$

Если угол с вершиной внутри круга содержит  $\beta$  угловых градусов и опирается на дуги, содержащие  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  дуговых градусов, то

$$\beta = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2} \quad (13)$$

Если прямая  $ACD$  пересекается с окружностью в точках  $C$  и  $D$ , а прямая  $AB$  касается этой же окружности в точке  $B$ , то

$$AB^2 = AC \cdot AD \quad (14)$$

Для шара радиуса  $R$  (или диаметра  $D$ ) с поверхностью  $S$  и объемом  $V$  справедливы равенства:

$$S = 4\pi R^2 = \pi D^2 \quad (15)$$

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{1}{6} \pi D^3 \quad (16)$$

Поверхности  $s$  шарового пояса и шарового сегмента с высотами  $H$  вычисляются по формуле:

$$s = 2\pi RH = \pi DH, \quad (17)$$

где  $R$  — радиус, а  $D$  — диаметр шара.

Сумма ( $S$ ) членов геометрической прогрессии с первым членом  $a$ , знаменателем  $q$  и числом членов  $n$  вычисляется по формуле:

$$S = \frac{a(q^n - 1)}{q - 1} \quad (18)$$

Для эллипса с большой полуосью  $a$ , малой  $b$  и половиной расстояния между фокусами  $c$  справедливо соотношение:

$$a^2 = b^2 + c^2 \quad (19)$$

### Физика и астрономия

При равномерном движении со скоростью  $v$  за время  $t$  тело проходит путь  $s$  такой, что

$$s = vt \quad (20)$$

Для равноускоренного движения тела справедливы формулы:

$$v_t = v_0 + at \quad (21)$$

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}, \quad (22)$$

где  $a$  — ускорение,  $v_0$  — начальная, а  $v_t$  — конечная скорости,  $s$  — путь, пройденный за время  $t$ .

Тело массой  $m$  и объемом  $V$  обладает плотностью

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (23)$$

Равнодействующая двух параллельных сил  $P_1$  и  $P_2$ , направленных в одну сторону, равна их сумме, параллельна им, направлена в ту же сторону, а точка приложения ее отстоит от точек приложения составляющих на расстояниях, соответственно равных  $l_1$  и  $l_2$ , таких, что

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{P_1}{P_2} \quad (24)$$

Тело массой  $m$ ,двигающееся со скоростью  $v$ , обладает кинетической энергией

$$W_k = \frac{mv^2}{2} \quad (25)$$

Работа движущей силы  $F$ , перемещающей тело в направлении своего действия на расстояние  $s$ , равна:

$$A = Fs \quad (26)$$

Если в результате взаимодействия два тела массами  $m_1$  и  $m_2$  приобретают скорости соответственно  $v_1$  и  $v_2$ , то по закону сохранения количества движения

$$m_1 v_1 = m_2 v_2 \quad (27)$$

Сила  $F$  сообщает телу массой  $m$  ускорение

$$a = \frac{F}{m} \quad (28)$$

Два тела массами  $m_1$  и  $m_2$ , находясь на расстоянии  $R$ , притягиваются друг к другу с силой

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2}, \quad (29)$$

где  $\gamma$  — гравитационная постоянная.

Если тело массой  $m$  движется по окружности радиуса  $R$  с линейной скоростью  $v$ , то:

$$\omega = \frac{v}{R} \quad (30)$$

$$a = \omega^2 R \quad (31)$$

$$F = m\omega^2 R, \quad (32)$$

где  $\omega$  — угловая скорость,  $a$  — центростремительное ускорение,  $F$  — центростремительная сила.

Период колебаний математического маятника длиной  $l$ , происходящих под действием силы тяжести, равен

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (33)$$

где  $g$  — ускорение свободного падения.

Для нагревания тела массой  $m$  и удельной теплоемкостью  $c$  от температуры  $t_1$  до температуры  $t_2$  необходимо количество теплоты

$$Q = cm(t_2 - t_1) \quad (34)$$

Двоковыпуклая линза с фокусным расстоянием  $F$ , установленная на расстоянии  $d$  от предмета, линейные размеры которого  $AB$ , дает изображение размером  $A_1B_1$  на расстоянии  $f$  от оптического центра линзы. При этом справедливы соотношения

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \quad (35)$$

$$\frac{A_1B_1}{AB} = \frac{f}{d} \quad (36)$$

Если вокруг одного и того же небесного тела обращаются два других с периодами  $T_1$  и  $T_2$ , с большими полуосями  $a_1$  и  $a_2$  их эллиптических траекторий, то

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3 \quad (37)$$



## ЗАДАЧИ

### ГЛАВА ПЕРВАЯ

1. Найти отношение массы Солнца к суммарной массе девяти больших планет солнечной системы.

2. Масса третьего советского искусственного спутника Земли составляла 1327 кг, а первые четыре американских спутника имели следующие массы: «Эксплорер-1» — 13,9 кг, «Авангард-1» — 1,5 кг, «Эксплорер-3» — 14,1 кг («Эксплорер-2» не вышел на орбиту), «Эксплорер-4» — 17,3 кг. Подсчитайте отношение массы третьего советского спутника к суммарной массе четырех американских спутников.

3. Запуск первого американского спутника Земли «Эксплорер-1», имевшего массу 13,9 кг, был осуществлен четырехступенчатой ракетой «Юпитер-С». На старте масса ракеты вместе со спутником была равна 28,456 т. Какую часть составляла масса спутника от массы ракеты?

4. Одна из планет солнечной системы удалена от Солнца на расстояние, которое относится к расстоянию от Солнца до Марса как 65 : 19. Как далеко удалена эта планета от Солнца? Как она называется?

5. Игрушечный воздушный шар в земных условиях наполнили легким газом так, что он плавает в воздухе. Представим себе, что космонавт захватит этот шар на Луну, где атмосфера почти отсутствует. Как поведет себя шар на Луне, если он не лопнет от внутреннего давления?

Что произошло бы с шаром, если бы его перенесли на планету, атмосфера которой плотнее земной, а сила притяжения на поверхности такая же, как на Земле? (Предположить, что шар не уменьшится в объеме.)

Что произошло бы с шаром, если бы его поместили на поверхность планеты с увеличенной силой тяжести, но с атмосферой такой же плотности, как на Земле?

6. Справедливы ли законы Паскаля и Архимеда внутри корабля-спутника Земли?

7. Справедлив ли закон сообщающихся сосудов внутри корабля-спутника Земли?

8. Можно ли на космическом корабле-спутнике, двигающемся по круговой орбите вокруг Земли, взвешивать на пружинных или рычажных весах?

9. Можно ли с помощью ареометра определить удельный вес жидкости в условиях искусственного спутника Земли?

10. Можно ли измерить давление воздуха внутри корабля-спутника Земли ртутным барометром? барометром-анероидом?

11. Могут ли космонавты в случае необходимости пользоваться на корабле-спутнике Земли обычным медицинским термометром?

12. Какие способы распространения теплоты возможны внутри корабля-спутника, двигающегося по круговой орбите и заполненного газом?

13. Сохраняются ли внешние размеры тела после его удаления с поверхности Земли в космическое пространство?

14. Гора Казбек имеет высоту 5047 м. Какого диаметра нужно было бы изготовить рельефный глобус, чтобы на нем гора Казбек имела высоту 3 мм?

15. Экспедиция Магеллана совершила кругосветное путешествие за 3 года, а Гагарин облетел земной шар за 89 минут. Пути, пройденные ими, приблизительно равны. Во сколько раз средняя скорость полета Гагарина превышала среднюю скорость плавания Магеллана?

16. Летчик Е. П. Барабаш, доставивший Германа Титова после приземления космического корабля «Восток-2» в Москву, налетал за 20 лет 3 млн. км. Герман Титов за сутки пролетел в космосе 700 тыс. км. Сколько лет понадобилось бы летчику, чтобы налетать такое же расстояние, как космонавт за сутки, если предположить, что ежегодно он пролетает одинаковые расстояния?

17. Вторая советская космическая ракета, доставившая вымпел Советского Союза на Луну, прошла около 410 тыс. км за 38,5 ч. Какова была средняя скорость ракеты на участке Земля — Луна?

18. Звезда Вега, в направлении которой со скоростью 20 км/сек движется наша солнечная система, находится от нас на расстоянии  $25 \cdot 10^{13}$  км. Через сколько времени мы оказались бы вблизи этой звезды, если бы она сама не перемещалась в мировом пространстве?

19. Какое расстояние проходит Земля при движении вокруг Солнца за секунду? за сутки? за год?

20. Вообразите, что вы обошли земной шар по экватору. На сколько при этом ваша голова прошла путь длиннее, чем подошва ботинка? Рост человека принять равным 1,6 м. Подъем ног при ходьбе не учитывать. Изменится ли ответ задачи, если ее отнести не к Земле, а к Юпитеру?

21. На сколько километров орбита первого советского спутника Земли была короче орбиты третьего советского спутника? Средние радиусы орбит отличались на 410 км. Для простоты решения считать орбиты круговыми.

22. Найти среднюю скорость движения Луны вокруг Земли, считая орбиту Луны круговой.

23. Советский космический корабль-спутник «Восток-3» с космонавтом Андрияном Николаевым на борту совершил 64 оборота вокруг Земли за 95 ч. Определить среднюю скорость полета (в км/сек). Орбиту корабля считать круговой и отстоящей от поверхности Земли на 230 км.

24. На какой угол поворачивается Земля за 1 мин?

25. На какой угол поворачивается воображаемый радиус земной орбиты за 1 ч? Орбиту считать круговой, а движение Земли по орбите равномерным.

26. На сколько (в угловой мере) Земля за сутки обгоняет Марс?

27. Найти промежуток времени между двумя ближайшими противостояниями Марса. (В момент противостояния Земля расположена между Солнцем и Марсом.)

28. Угол поворота воображаемой прямой, соединяющей Солнце с Венерой, за один час равен 4'. Определить продолжительность года на Венере.

29. Во сколько раз на Марсе год длится дольше, чем сутки?

30. Один год на Юпитере составляет около 11 тыс. его суток. Какому количеству земных лет равен год Юпитера, если в его сутках 9 ч 50 мин?

31. Один год на Нептуне равен 91 тыс. его суток. Период обращения Нептуна вокруг Солнца составляет 165 земных лет. Сколько длятся сутки на Нептуне?

32. Второй советский искусственный спутник Земли с момента запуска (3 ноября 1957 г.) до 21 марта 1958 г. пролетел 89 млн. км, совершив 2000 оборотов вокруг Земли. Вычислить среднюю удаленность спутника от поверхности Земли за это время.

33. На каком расстоянии от центра Земли находится барицентр (центр тяжести) системы Земля — Луна?

34. Чем дальше расположена планета от Солнца и чем больше ее масса, тем дальше от центра Солнца находится центр тяжести системы Солнце — планета. Найдите в таблице солнечной системы планету самой большой массы и планету, наиболее удаленную от Солнца. Где располагается общий центр тяжести каждой из этих планет с Солнцем? Выходит ли он за пределы Солнца?

35. Как далеко от центра Земли должен улететь космический корабль массой 10 т, чтобы общий центр тяжести системы Земля — корабль находился вне Земли?

36. Представьте себе, что в Земле прорыт сквозной колодезь, проходящий через ее центр. Каким было бы движение камня, брошенного в такой колодезь?

Докажите, что камень через некоторое время остановился бы, если бы не сгорел. Где произошла бы остановка?

Если бы в колодезе создать вакуум, то движение камня продолжалось бы бесконечно долго. Однако и тогда эту систему нельзя было бы считать вечным двигателем. Почему?

37. За какое время свет проходит расстояние от Солнца до Земли?

38. Сколько времени идет до нас свет самой яркой звезды Сириус, отстоящей от Земли на расстоянии  $84 \cdot 10^{12}$  км?

39. Свет от ближайшей к нам яркой звезды  $\alpha$  Центавра идет до нас  $4\frac{1}{3}$  года. Сколько времени двигался бы к этой звезде космический корабль со скоростью 25 км/сек, если бы даже, вопреки целесообразности, он летел прямолинейно?

40. Межпланетные расстояния принято выражать в астрономических единицах (а. е.). Астрономическая единица равна среднему расстоянию от Земли до Солнца. Выразить длину орбиты советской космической ракеты «Мечта» в астрономических единицах, считая орбиту круговой с радиусом 170 млн. км.

41. Советский космический корабль «Восток-5» с Валерием Быковским на борту 81 раз облетел вокруг Земли. Подсчитать расстояние (в а. е.), пройденное кораблем, считая орбиту круговой и отстоящей от поверхности Земли на 200 км.

42. Расстояния между звездами принято выражать в световых годах. За световой год принимается расстояние,

проходимое светом (в вакууме) за один год. Выразить световой год в километрах.

43. Туманность Андромеды видна невооруженным глазом, но отстоит от Земли на расстоянии 900 тыс. св. лет. Выразить это расстояние в километрах.

44. Выразить световой год в астрономических единицах.

45. Расстояния между галактиками выражают в парсеках. Один парсек равен 3,26 св. года. Выразить парсек в километрах.

46. Выразить парсек в астрономических единицах.

47. Наибольшей единицей длины является мегапарсек (миллион парсеков), а наименьшей — ядерная единица (ею выражают расстояния внутри атомов), равная  $10^{-13}$  см. Во сколько раз первая единица больше второй?

48. Если тончайшую нить паутины протянуть от Москвы до Ленинграда, то вес ее оказался бы 10 г. Сколько весила бы такая нить, протянутая на длину одного мегапарсека? Расстояние от Москвы до Ленинграда принять равным 640 км.

49. Размеры Земли были впервые определены более двух тысяч лет назад греческим ученым Эратосфеном. Он наблюдал Солнце в полдень летнего солнцестояния из двух мест, находящихся примерно на одном меридиане, но отстоящих одно от другого на расстоянии 5 тысяч стадий (одна греческая стадия равна примерно 157,5 м). В одном месте Солнце освещало дно колодца, т. е. находилось в зените, а в другом — его лучи падали под углом  $7^{\circ},2$  к вертикали. Вычислите по этим данным длину окружности всего меридиана.

50. В полдень 22 июня в Киеве Солнце можно наблюдать под углом  $63^{\circ}$ , а в Ленинграде — под углом  $53^{\circ},5$  над горизонтом. Зная, что эти города расположены примерно на одном меридиане, определите расстояние между ними в километрах.

51. Луна видна с Земли под углом зрения\*  $32'$ . Зная расстояние от Земли до Луны, определите приближенно диаметр Луны.

У к а з а н и е. Считать, что длина дуги, стягивающей малый угол, приближенно равна длине хорды, стягивающей эту дугу.

---

\* Углом зрения называется угол, образованный двумя лучами, исходящими из глаза наблюдателя и проходящими через концы диаметра наблюдаемого тела.

52. Космонавт, находясь на Луне, видел бы земной шар под углом  $1^{\circ}54'$ . Зная диаметр Земли, определите приблизительно расстояние от Земли до Луны.

53. Наземный вычислитель, измеряя угол между направлениями на Луну и космическую ракету, пролетающую мимо Луны, ошибся на  $1'$ . Какова будет из-за этого ошибка в вычислении расстояния между Луной и ракетой?

54. Парсек — расстояние, с которого средний радиус земной орбиты виден под углом  $1''$ . Выразите приблизительно парсек в километрах, не прибегая к сравнению его с другими единицами длины.

55. Точно «нацеленная», но отправленная на Марс с опозданием в 1 мин космическая ракета отклонилась бы от цели из-за вращения Земли. Величина отклонения почти не зависит от формы траектории, поэтому условно будем считать траекторию прямой. Как далеко от Марса прошла бы при этих условиях ракета, если первоначально встреча предполагалась в 378 млн. км от места старта? Перемещением Марса за 1 мин пренебречь.

56. Человек с нормальным зрением различает предметы, если он видит их под углом, большим  $1'$ . Какова ширина наименьших предметов, которые мог видеть космонавт-4 Павел Попович с высоты 200 км? Ухудшение видимости из-за атмосферы не учитывать.

57. Какое увеличение телескопа понадобилось бы, чтобы с Земли различить космонавта, находящегося на Луне?

58. С каким увеличением телескоп понадобился бы Юрию Гагарину, чтобы, пролетая над стадионом, он мог с высоты 327 км видеть полет футбольного мяча диаметром 25 см?

59. На каком расстоянии от Луны космонавт сможет, удалив от глаза на 50 см копеечную монету диаметром 15 мм, совместить ее контур с контуром Луны?

60. На какое расстояние от глаза можно будет удалить десятикопеечную монету диаметром 18 мм, чтобы, находясь на Луне, перекрыть контуром монеты контур Земли?

61. Допустим, что звездоплаватель, находясь от звезды на расстоянии 2 а. е., перекроет ее контур монетой диаметром 15 мм, удаляя ее от глаза на 70 см. Каков диаметр звезды?

62. Допустим, что для перекрытия контура Земли космонавту понадобится удалить монету от глаза вдвое дальше, чем для перекрытия контура Луны. На каких расстояниях от Земли и Луны будет находиться при этом космонавт, если первое на 300 тыс. км больше второго?

63. Из какой точки прямой, соединяющей центры Земли и Луны, эти небесные тела будут казаться равными по размерам?

64. Вычислить длину конуса тени, отбрасываемой земным шаром при освещении Земли солнечными лучами.

65. Вычислить диаметр конуса тени, отбрасываемой Землей, в том месте, где через конус проходит Луна при полном лунном затмении. Орбиту Луны считать круговой.

66. Что будет наблюдать космонавт, находясь на Луне, в момент полного лунного затмения на Земле?

67. Как сказались бы на солнечных затмениях, наблюдаемых с Земли, увеличение или уменьшение расстояния между Землей и Луной?

68. Каким должен быть диаметр искусственного спутника Земли, чтобы при движении его по орбите на высоте 1 тыс. км на Земле наблюдались полные лунные затмения?

69. За какое время радиосигнал дойдет от Земли до Марса, находящегося в противостоянии? Орбиты Земли и Марса считать круговыми.

70. На каком расстоянии от Земли должен находиться космический корабль, чтобы радиосигнал, посланный с Земли и отраженный кораблем, вернулся на Землю через 1,8 сек после его отправления?

71. Представим себе, что будущий звездоплавателю пошлет точно с четырехчасовым перерывом два радиосигнала, а на Земле они будут приняты с перерывом 4 ч 1 сек. Вычислите по этим данным среднюю скорость удаления звездоплывателя от Земли. Перемещением Земли за это время пренебречь.

72. Кто раньше и насколько мог услышать Юрия Гагарина, говорившего перед микрофоном: Герман Титов, находившийся в 10 м от Гагарина на командном пункте, или Павел Попович, пилотировавший космический корабль «Восток-4» и удаленный в этот момент от Гагарина на 4 тыс. км?

73. Какова дальность горизонта на Земле? Преломление лучей в атмосфере не учитывать, рост человека принять равным 1,6 м.

74. Какова дальность горизонта на Луне, на любой из планет солнечной системы для человека, имеющего рост 1,6 м?

75. На какую высоту нужно подняться над поверхностью Луны, чтобы обозреть окрестность в радиусе 5 км?

76. Представьте себе, что вы подлетели на космическом корабле к неизвестной планете. Радиолокатор показал, что на высоте 100 км расстояние по прямой до линии горизонта составляет 1430 км. Определите по этим данным диаметр планеты.

77. Одна из величайших кольцевых гор Луны — Кра-тер Коперника имеет наружный диаметр 124 км, а внутренний 90 км. Наивысшие точки кольцевого вала возвышаются над почвой внутренней котловины на 1500 м. Учитывая дальность горизонта на Луне, рассчитайте, сможет ли космонавт увидеть наивысшую точку кольцевого вала, находясь в центре котловины.

78. Находились ли в поле зрения Валентины Терешковой одновременно и Москва и Берлин, если, пролетая по середине между ними, она находилась на высоте 170 км над поверхностью Земли? Расстояние от Москвы до Берлина по поверхности Земли принять равным 2000 км.

79. Герман Титов на космическом корабле «Восток-2» стартовал 6 августа 1961 года в 9 часов по московскому времени с космодрома Байконур в северо-восточном направлении. Москва находится во втором часовом поясе, а Байконур — в пятом. Период обращения корабля вокруг Земли составлял 88 мин. Если бы часы Титова были поставлены по поясному времени, то что они показывали бы в момент старта? Если бы Титов, пролетая над поверхностью Земли переставлял свои часы по поясному времени, то как часто (в среднем) ему приходилось бы это делать? Какого числа по местному календарю Титов первый раз пролетал над западным полушарием Земли?

80. Почему искусственные спутники Земли «светятся», если на них даже не установлены какие-либо источники света?

81. Почему многие искусственные спутники Земли при своем движении по небосводу «мигают», т. е. периодически меняют яркость?

82. Подсчитать объем Марса.

83. В 1937 г. был открыт астероид Гермес диаметром около 1 км. Это один из самых маленьких астероидов. Какова масса этого «маленького» космического тела, если принять, что его плотность равна плотности гранита ( $2,6 \text{ г/см}^3$ )?

84. Средняя плотность межзвездной материи составляет  $0,3 \cdot 10^{-23} \text{ г/см}^3$ . С каким количеством этой материи, вероятно, столкнется звездолет на пути к ближайшей звез-



де  $\alpha$  Центавра? Длину траектории принять равной 5 св. годам, а диаметр звездолета в месте его наибольшего поперечного сечения 12 м. Межзвездную материю условно считать неподвижной.

## ГЛАВА ВТОРАЯ

85. Годи́чный паралла́кс\* звезды Процион равен  $0'',288$ . Определить расстояние до звезды Процион.

86. Вычислить расстояние до Луны, зная, что ее горизонтальный параллакс\*\* равен  $57'$ .

87. Определить горизонтальный параллакс спутника Земли, обращающегося по круговой орбите на расстоянии 20 000 км от поверхности Земли.

88. Горизонтальные параллаксы двух спутников Земли равны  $1$  и  $2^\circ$ . В каких пределах колеблется расстояние между ними во время полета, если они обращаются по концентрическим круговым орбитам?

89. Горизонтальный параллакс Солнца  $8'',8$ , а его видимый угловой радиус  $16'$ . Определить по этим данным, во сколько раз диаметр Солнца больше диаметра Земли.

90. Лучи света преломляются в атмосфере. Угол между истинным направлением на светило и кажущимся называется рефракцией ( $r$ ) и вычисляется по формуле  $r = 58'',2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha$ , где  $\alpha$  — угол между кажущимся направлением на светило и горизонтом. Вычислить приближенно линейное расстояние между кажущимся и истинным положениями звезды, если она видна под углом  $40^\circ$  к горизонту, а расстояние от Земли до звезды  $10^{15}$  км.

91. Какова длина одной минуты дуги параллели Земли на широте  $\varphi$ ?

92. Определить линейную скорость вращения точки земной поверхности на широте  $\varphi$ .

93. На какой широте линейная скорость вращения точки земной поверхности равна 150 м/сек?

94. На какой широте линейная скорость вращения точки земной поверхности вдвое меньше, чем в Киеве, находящемся на широте  $50^\circ 27'$ ?

---

\* Годи́чным паралла́ксом звезды называется угол, под которым со звезды виден радиус земной орбиты, перпендикулярный лучу зрения.

\*\* Горизонтальным паралла́ксом небесного тела называется угол, под которым с него виден радиус Земли, перпендикулярный лучу зрения.

95. Представим, что с космодрома, расположенного на экваторе, запущены четыре одинаковых спутника Земли на одинаковую высоту: на север, юг, запад и восток.

При этом каждый следующий спутник запускали через 1 мин после предыдущего. Столкнутся ли в полете спутники? Какой из них легче было запускать? Орбиты считать круговыми.

96. При запуске первых искусственных спутников Земли частично использовалась скорость вращения Земли. Советские спутники запускали с космодрома Байконур, расположенного вблизи 47-й параллели. Какова там линейная скорость движения точек земной поверхности?

97. Четырехступенчатая ракета-носитель, выведившая американский спутник «Эксплорер-1» на орбиту, за 7 мин довела его скорость до 8 км/сек. Подсчитать среднее ускорение, считая, что благодаря вращению Земли спутник еще на старте имел начальную скорость, полезная составляющая которой равнялась 0,3 км/сек.

98. За какое время ракета приобретет первую космическую скорость 7,9 км/сек, если она будет двигаться с ускорением 40 м/сек<sup>2</sup>?

99. Какое время понадобилось бы космическому кораблю, разгоняемому фотонной ракетой с постоянным ускорением 9,8 м/сек<sup>2</sup>, при котором космонавты не испытывают никакой физической перегрузки, чтобы достичь скорости, равной  $\frac{9}{10}$  скорости света?

100. Межпланетная автоматическая станция «Марс-1» начала свой полет со скоростью 12 км/сек. Благодаря притяжению Земли в конце первого миллиона километров ее скорость уменьшилась до 3,9 км/сек. Условно считая движение равнозамедленным, подсчитайте время полета и ускорение.

101. Рассчитайте время полета к ближайшей звезде  $\alpha$  Центавра, если полет будет протекать по траектории длиной 5 св. лет и укладываться в следующий график: стартуя с Земли с постоянным ускорением 9,8 м/сек<sup>2</sup>, корабль доведет свою скорость до половины скорости света, затем, выключив двигатели, станет двигаться равномерно. Торможение с ускорением  $-9,8$  м/сек<sup>2</sup> начнется с таким расчетом, чтобы при подходе к звезде скорость была равна нулю.

102. 1) Какое минимальное ускорение должны обеспечить двигатели звездолета, чтобы полет к ближайшей звезде  $\alpha$  Центавра и обратно уложился в 60 лет — продолжи-

тельность творческой жизни человека? Предположить, что длина траектории в каждый конец составит 5 св. лет, а весь полет будет состоять из двукратного разгона и двукратного торможения. Парадокс времени («сжимаемость» времени при больших скоростях) не учитывать.

2) Представим себе, что, находясь от Земли на расстоянии 0,01 св. года, межзвездный корабль радирует о возвращении и немедленно отправляется с ускорением  $2 \text{ м/сек}^2$ . Какое расстояние успеет пролететь корабль, пока радиogramма достигнет Земли?

103. Американский космонавт Аллан Шепард с помощью ракеты «Редстоун-Меркурий-3» совершил полет по баллистической траектории. На высоте 15 км ракета имела скорость 2500 км/ч, а на высоте 30 км — 5280 км/ч. Считая, что на этих участках движение было вертикальным, а двигатели работали с одинаковой мощностью, указать три главные причины, вызвавшие увеличение ускорения на втором участке полета.

Принимая ускорение ракеты на каждом из пятнадцатикилометровых участков постоянным, рассчитать время, за которое ракета достигла тридцатикилометровой высоты.

104. Почему спутники Земли не падают на Землю под влиянием силы тяжести?

105. 1) Какое из известных вам небесных тел движется под действием той же силы, что и искусственные спутники Земли?

2) Какие из известных вам небесных тел движутся под действием той же силы, под воздействием которой протекал полет межпланетной автоматической станции «Марс-1»?

106. Если бы соревнования по поднятию штанги, бегу на скорость и дальность, прыжкам в высоту и длину проводили на Марсе, то какие из земных рекордов были бы побиты? Атмосферные различия не учитывать.

107. Как будет двигаться предмет, если, не сообщая ему добавочной скорости, перенести его из центра тяжести корабля-спутника, движущегося по круговой орбите, в точку, находящуюся вне корабля, но на орбите центра тяжести корабля? Сопротивлением пренебречь.

108. Герман Титов рассказал, что во время его полета на космическом корабле-спутнике «Восток-2» его киноаппарат «уплывал» от него. Объясните, почему аппарат, будучи невесомым, двигался, а не «висел» в воздухе. Какой путь проплывал аппарат за время одного оборота корабля

вокруг Земли, если он был удален от Земли на 0,5 м дальше, чем центр тяжести корабля?

Считать орбиту корабля круговой, а скорость движения аппарата равной скорости движения центра тяжести корабля.

109. По радиусу Земли и ускорению силы тяжести на ее поверхности определить, какова должна быть скорость спутника, обращающегося непосредственно у поверхности Земли по круговой орбите. Сопротивлением воздуха пренебречь.

110. Почему все искусственные спутники Земли двигаются по эллипсам, а не по окружностям?

111. 1) Спутник, двигаясь вблизи земной поверхности по эллиптической орбите, тормозится атмосферой. Как это изменяет траекторию полета?

2) Можно ли создать спутник, который будет двигаться вокруг Земли сколь угодно долго?

112. Найдите ошибку в постановке задачи, начинающейся так: «На сколько километров ниже спутника должна находиться ракета-носитель, чтобы при одинаковой с ним скорости, она...»

113. Может ли спутник обращаться устойчиво в плоскости, не проходящей через центр тяжести планеты? Ответ обосновать.

114. Как будет двигаться тело, если космонавт метнет его вперед по ходу корабля-спутника, двигающегося по круговой орбите?

115. Что должен предпринять космонавт, чтобы с корабля-спутника Земли, двигающегося по круговой орбите, отправить на Землю какое-либо тело?

116. Почему тела внутри космического корабля, летящего с выключенными двигателями, невесомы?

117. Высотная ракета взлетела вертикально на 100 км и упала на Землю. Приборы внутри ракеты находились в состоянии невесомости 3 мин. На какой высоте началась невесомость и какую скорость имела в этот момент ракета? Сопротивление воздуха и уменьшение силы тяжести с увеличением высоты не учитывать.

118. Для искусственного получения невесомости Циолковский в 1895 г. выдвинул идею гравитрона (рис. 1) — трубы, в которой свободно совершает движение кабина с испытуемыми. На участке *AB* при движении и вверх и вниз создается состояние невесомости. Какова должна быть длина *AB*, чтобы невесомость длилась непрерывно 14 сек?

119. Человеческий организм сравнительно долго может переносить четырехкратное увеличение своего веса. Какое максимальное ускорение можно придать кораблю, чтобы не превысить этой нагрузки на организм космонавтов, если они не снабжены средствами ослабления нагрузки? Разобрать случаи вертикального взлета с поверхности Земли, вертикального спуска, движения по горизонтали и полет вне поля тяготения.

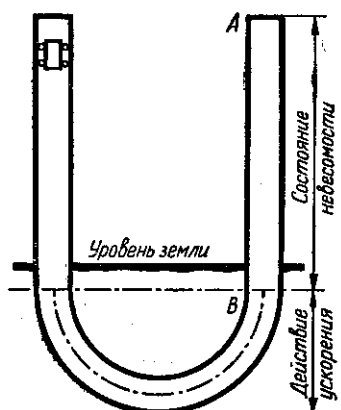


Рис. 1.

120. Учитывая результат, полученный в предыдущей задаче, определить минимальный промежуток времени, необходимый для разгона космического корабля в горизонтальном направлении до второй космической скорости  $11,2 \text{ км/сек}$ . Считать, что космонавты не обеспечены средствами ослабления нагрузки на организм.

121. Герои романа Жюль Верна «Из пушки на Луну» летели в снаряде. Пушка «Колумбиада» имела длину ствола 300 м. Учитывая, что для полета на Луну снаряд при вылете из ствола должен был бы иметь скорость не менее  $11,1 \text{ км/сек}$ , подсчитать, во сколько раз «возрастал вес» пассажиров внутри ствола. Движение внутри ствола считать равноускоренным.

122. Найти силу тяготения между Землей и Луной.

123. 1) По закону всемирного тяготения Луна притягивается и к Земле и к Солнцу. К чему сильнее и во сколько раз?

2) Как объяснить кажущееся противоречие между результатом, полученным при решении пункта 1) задачи, и тем фактом, что Луна остается спутником Земли, а не Солнца?

124. Вообразим, что на Луне в точках, наиболее и наименее удаленных от Земли, находятся два одинаковых космонавта. Какой из них будет весить больше в тот момент, когда Луна окажется на отрезке, соединяющем центры Земли и Солнца?

125. Орбиты и скорости космических кораблей-спутников «Восток-3» и «Восток-4», пилотируемых летчиками-

космонавтами Андрияном Николаевым и Павлом Поповичем, практически совпадали. Расстояние между кораблями равнялось 5 км. Если бы полет продолжался неограниченно долго и сопротивление воздуха отсутствовало, то в силу закона всемирного тяготения они притянулись бы один к другому. Сколько времени понадобилось бы для этого, если масса каждого корабля 5 т? Орбиты считать круговыми, а силу притяжения условно считать постоянной и равной той силе, которая возникла бы, когда расстояние между кораблями уменьшилось вдвое.

126. Каково ускорение силы тяжести на поверхности Луны?

127. Каково ускорение силы тяжести на поверхности Солнца?

128. Вычислите ускорение силы тяжести на поверхности каждой из планет солнечной системы.

129. Вывести формулу для вычисления ускорения силы тяжести  $g$  на высоте  $H$  над поверхностью планеты радиуса  $R$ . Ускорение  $g_0$  на поверхности планеты считать данным.

130. Луна «падает» на Землю с ускорением  $2,7 \text{ мм/сек}^2$ . По радиусу Земли и ускорению силы тяжести на ее поверхности найти расстояние от Земли до Луны.

131. Масса третьего советского искусственного спутника Земли составляла 1327 кг. Что показали бы пружинные весы, если бы спутник после остановки его в апогее (1881 км от поверхности Земли) был взвешен?

132. На какой высоте над поверхностью Земли вес тела будет втрое меньше, чем на ее поверхности?

133. В какой точке отрезка прямой, соединяющего центры Земли и Луны, тела будут притягиваться ими с одинаковой силой?

134. Можно ли из результата, полученного в предыдущей задаче, сделать вывод, что двигатели ракеты, отправляющейся на Луну, должны работать до тех пор, пока земное притяжение не уступит лунному?

135. Сколько точек пространства в каждый момент времени обладают тем свойством, что в них земное притяжение равно лунному?

136. Вес некоторого груза на Марсе на 120 кГ больше, чем на Луне. Сколько весит этот груз на Земле?

137. 1) Каков будет вес космонавта на Луне, если в земных условиях он вместе с костюмом весит 70 кГ?

2) Как высоко сможет прыгнуть космонавт на Луне, при-

ложив усилие, достаточное для того, чтобы на Земле прыгнуть на 0,5 м?

138. Найти ускорение силы тяжести на поверхности Солнца по следующим данным: радиус Солнца в 109 раз больше радиуса Земли, а средняя плотность солнечного вещества в четыре раза меньше плотности Земли. Ускорение силы тяжести на поверхности Земли считать известным.

139. В 1935 г. в созвездии Кассиопеи была открыта звезда, названная белым карликом Кейпера. Радиус ее равен 3300 км, а масса в 2,8 раза превышает массу Солнца. а) Какова плотность вещества звезды? б) Каково ускорение силы тяжести на ее поверхности? в) Сколько весил бы 1 см<sup>3</sup> земного воздуха (плотность 0,0013 г/см<sup>3</sup>) на поверхности звезды? Влияние атмосферы звезды не учитывать. г) Если вещество звезды однородно, то сколько весит 1 см<sup>3</sup> этого вещества на самой звезде?

140. Представьте себе, что в земных условиях вы стоите на кубе, изготовленном из вещества звезды, о которой говорилось в предыдущей задаче. Ребро куба равно 1 м. Как высоко вы подпрыгнете с него, если обычно вы прыгаете без разбега на высоту 85 см? Пусть ваш рост 1,5 м, а вес 60 кг.

141. Пользуясь результатами решений задач № 109 и № 129, вывести формулу для подсчета первой космической скорости (круговой) в зависимости от высоты  $H$  над поверхностью планеты. С помощью этой формулы определить, какова была скорость космического корабля-спутника «Восток-1». Считать, что корабль двигался по круговой орбите на высоте 300 км над поверхностью Земли.

142. Доказать, что на меньшей высоте спутник должен обращаться быстрее.

143. Определить ускорение силы тяжести на поверхности Земли по периоду обращения Луны вокруг Земли, расстоянию между центрами Земли и Луны и радиусу Земли.

144. Определить период обращения корабля-спутника «Восток-3», считая его орбиту круговой и удаленной от поверхности Земли на 220 км.

145. Каков должен быть радиус круговой орбиты спутника Земли, совершающего один оборот за 100 мин?

146. 1) Может ли обращаться по круговой орбите вокруг Земли спутник, имеющий скорость 1 км/сек?

2) Может ли спутник Земли обращаться по орбите как угодно большого радиуса? Ответ обосновать.

147. Может ли спутник Земли делать 18 оборотов в сутки?

148. Какую скорость должен иметь спутник, чтобы обращаться по круговой орбите у поверхности Луны? у поверхности каждой планеты солнечной системы?

149. С какой скоростью должна двигаться у поверхности Солнца искусственная планета?

150. Определить ускорение силы тяжести на поверхности Солнца двумя путями, используя следующие данные: а) время обращения Земли вокруг Солнца, радиус Солнца и радиус орбиты Земли; б) продолжительность года на Земле, расстояние от Земли до Солнца и угол, под которым с Земли виден диаметр Солнца (32').

151. Один из проектов международной телевизионной связи предусматривает применение для этой цели спутника Земли. На какую высоту над экватором нужно запустить спутник на восток, чтобы с Земли он казался неподвижным? Какое минимальное количество таких спутников нужно запустить, чтобы любая точка экватора «просматривалась» хотя бы одним спутником?

152. Представьте себе, что, подлетев к неизвестной планете, вы придали своему кораблю горизонтальную скорость  $10 \text{ км/сек}$  и она, при неработающих двигателях, обеспечила полет вашего корабля по круговой орбите с радиусом  $9100 \text{ км}$ . Каково ускорение силы тяжести на поверхности планеты, если ее радиус равен  $8900 \text{ км}$ ?

153. Допустим, что, двигаясь как спутник в непосредственной близости от неисследованной планеты, космический корабль при скорости  $9 \text{ км/сек}$  облетит планету за 2 ч. Какова масса и плотность вещества планеты?

154. За какое время спутник, движущийся по круговой орбите у поверхности планеты со скоростью  $8 \text{ км/сек}$ , сделает полный оборот, если масса планеты  $10^{25} \text{ кг}$ ?

155. Если межзвездный корабль будет двигаться в пространстве, где практически не сказывается притяжение к другим небесным телам, с ускорением  $5 \text{ м/сек}^2$ , то что покажут внутри корабля следующие приборы, градуированные по земному:

пружинные весы при взвешивании груза массой  $6 \text{ кг}$ ; рычажные весы при взвешивании груза массой  $5 \text{ кг}$ ; ареометр при измерении плотности жидкости; ртутный барометр при измерении давления воздуха; барометр анероид при измерении давления воздуха; медицинский термометр при измерении температуры тела космонавта?



156. Спутник Земли, движущийся по круговой орбите на высоте 930 км, периодически заходит в тень и полутень Земли. Подсчитайте продолжительность «дня», «ночи», «утренних» и «вечерних» сумерек на спутнике. Смещением Земли относительно Солнца пренебречь.

157. На каком удалении от поверхности Земли должен обращаться полюсный спутник, чтобы за сутки он пролетел над каждым полюсом по 10 раз?

158. Зная, что лунная орбита втрое длиннее орбиты спутника Земли, определить период обращения спутника. Орбиту Луны считать круговой.

159. По круговой орбите радиуса  $R + H$  вокруг планеты, имеющей радиус  $R$  и ускорение силы тяжести на ее поверхности  $g_0$ , движется спутник. Вывести формулу для вычисления угловой скорости  $\omega$  обращения спутника.

160. 1) Плоскость орбиты спутника совпадает с плоскостью земного экватора, а направление движения спутника с направлением вращения Земли. Через сколько времени спутник появляется над одной и той же точкой земного экватора? Орбиту спутника считать круговой и отстоящей от поверхности Земли на 2100 км.

2) Решить задачу, считая, что спутник движется в противоположном направлении.

161. 1) Два спутника Земли движутся в одной плоскости и в одном направлении по круговым орбитам на высотах 1500 и 1600 км. Определить наименьший промежуток времени между двумя такими положениями спутников, когда один из них находится над другим по отношению к центру Земли.

2) Решить задачу, считая, что спутники движутся в противоположных направлениях.

162. Спутник движется по круговой орбите в плоскости экватора Земли на высоте, равной радиусу Земли. С какой скоростью должен передвигаться наблюдатель, находящийся на экваторе, чтобы спутник появлялся над ним регулярно через каждые 5 ч? Рассмотреть два случая: 1) направление движения спутника совпадает с направлением вращения Земли; 2) направление движения спутника противоположно вращению Земли.

163. 1) Если ряд спутников запустить на круговые орбиты вдоль экватора Земли на восток, то как с увеличением высоты полета изменится период их появления над наблюдателем, находящимся на экваторе?

2) Сколько разных круговых орбит существует в плоскости земного экватора для спутников, появляющихся над неподвижным наблюдателем через один и тот же промежуток времени  $T$ ?

164. 1) На какой высоте должен обращаться спутник вдоль экватора на восток, чтобы над каждой точкой экватора он появлялся один раз в 100 лет?

2) Спутник, движущийся по круговой орбите в плоскости земного экватора, появлялся над неподвижным наблюдателем дважды с перерывом 86 мин. В какую сторону обращается спутник: с запада на восток или наоборот?

3) Каков должен быть период обращения спутника, высота его полета над поверхностью Земли и направление движения, чтобы наблюдатель на экваторе видел его над собой через промежутки времени, равные периоду обращения спутника?

165. Наблюдатель находится на полюсе Земли, а спутник движется вдоль меридиана по круговой орбите на высоте 200 км над поверхностью Земли. Пренебрегая преломлением света в атмосфере и ростом наблюдателя, найти а) на каком расстоянии от наблюдателя взойдет спутник; б) время от восхода до заката спутника; в) угловую скорость спутника относительно наблюдателя в первую секунду после восхода; г) угловую скорость спутника относительно наблюдателя (кажущуюся скорость движения спутника на небесной сфере) в тот момент, когда спутник находится в зените (над головой наблюдателя).

166. Циолковский в 1895 г. предложил способ создания искусственной тяжести на космических кораблях: корабль должен состоять из двух частей, соединенных тросами (рис. 2); небольшие ракетные двигатели приведут части корабля во вращение вокруг их общего центра тяжести, а затем

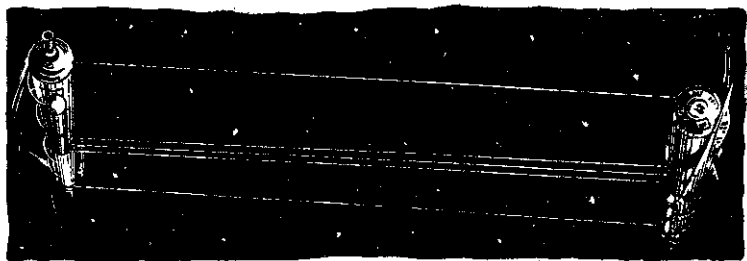


Рис. 2.

вращение будет продолжаться по инерции. Какую угловую скорость вращения необходимо сообщить кораблю, чтобы сила тяжести тел внутри частей корабля стала равна земной? Общую длину троса и частей корабля принять равной  $2R$ .

167. При подготовке к полетам летчики-космонавты тренируются в центрифуге. Центрифуга — это своеобраз-

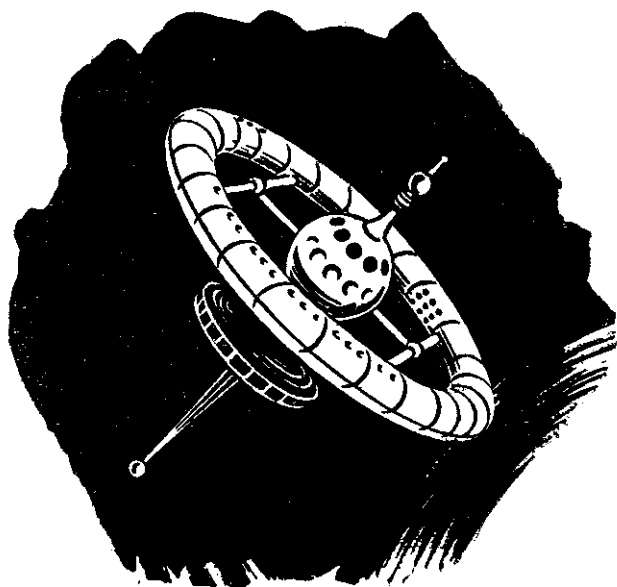


Рис. 3.

ная карусель. Один конец горизонтального рычага центрифуги закреплен во вращающемся барабане, а на другом конце в специальном кресле сидит космонавт. Какова должна быть длина рычага, чтобы при угловой скорости вращения центрифуги  $0,5 \text{ об/сек}$  вертикальная спинка кресла давила на космонавта с силой, равной его учетверенному весу?

168. В одном из зарубежных проектов космической станции предусматривается изготовление ее в форме полого колеса (рис. 3) с радиусом  $40 \text{ м}$ . Какой была бы сила тяжести на такой станции по сравнению с земной при вращении колеса со скоростью  $\frac{2}{7} \text{ рад/сек}$ ?

Представим себе, что космонавт идет внутри такой космической станции в сторону ее вращения. Масса космонавта

70 кг, а скорость ходьбы 5 км/ч. Каков вес космонавта? Каким стал бы вес космонавта, если бы он пошел с той же скоростью против направления вращения станции?

169. Определить зависимость между плотностью  $\rho$  вещества планеты и периодом ее вращения  $T$ , если на экваторе тела невесомы. Вычислить плотность вещества такой планеты, если продолжительность суток на ней равна 24 ч.

170. Какова продолжительность суток планеты, средняя плотность которой равна  $5 \text{ г/см}^3$ , если на экваторе тела невесомы?

171. Во сколько раз должна была бы возрасти скорость вращения Земли, чтобы на экваторе тела были невесомы?

172. 1) Сравнить вес тел на экваторе и на полюсе планеты, радиус которой  $R$ , масса  $M$  и продолжительность суток  $T$ .

2) Экваториальный радиус Юпитера равен 71 тыс. км, а полюсный 67 тыс. км. Учитывая это, а также вращение Юпитера вокруг оси, подсчитайте отношение веса тела на экваторе Юпитера к весу его на полюсе.

173. Учитывая, что движение спутника планеты по круговой орбите вызвано центростремительной силой, вывести (не прибегая к геометрии) формулу для вычисления скорости спутника на орбите. Спутник движется непосредственно у поверхности планеты.

174. 1) Ракета-носитель доставила спутник на орбиту и разогнала его до нужной скорости. Механизм, отделяющий последнюю ступень ракеты от спутника, сообщил ей скорость (относительно общего центра тяжести)  $1 \text{ м/сек}$ . Какую добавочную скорость получил спутник, если его масса  $5 \text{ т}$ , а масса последней ступени ракеты без горючего  $9 \text{ т}$ ?

2) Если бы космическая ракета выбрасывала свои газы не постепенно, а все вместе одним толчком, то какое количество горючего было бы необходимо, чтобы одноступенчатой ракете массой  $1 \text{ т}$  при скорости вылета газов  $2 \text{ км/сек}$  придать первую космическую скорость?

175. Третий советский искусственный спутник Земли двигался со средней скоростью  $7,9 \text{ км/сек}$ . Какой кинетической энергией он обладал, если масса его составляла  $1327 \text{ кг}$ ?

176. Мощность всех двигателей космического корабля «Восток-1» составляла 20 млн. л. с. Какое количество двигателей легкового автомобиля «Москвич» могли бы вместе развить такую же мощность, если один двигатель автомашины развивает мощность  $33 \text{ кВт}$ ?

177. Тело массой 10 кг поднято на 1000 км над поверхностью Земли. Правильным ли будет такое вычисление потенциальной энергии этого тела:  $W_{\text{п}} = mgh = 10 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/сек}^2 \cdot 10^6 \text{ м} = \dots$ ?

178. Чтобы выйти за пределы земного тяготения, ракета у поверхности Земли должна получить начальную скорость 11,2 км/сек, которая в процессе этого выхода будет сведена к нулю. Чтобы после этого преодолеть тяготение Солнца и уйти к звездам, ракета должна получить еще добавочную скорость, равную 12,3 км/сек относительно Земли. Какую скорость необходимо придать ракете у поверхности Земли, чтобы, не становясь искусственной планетой, ракета улетела к звездам?

179. Пусть ракета, стартуя с поверхности Земли, удаляется как угодно далеко. Разобьем траекторию ее полета на участки  $B_0B_1, B_1B_2, B_2B_3, \dots$  так, что точки  $B_0, B_1, B_2, \dots$  будут удалены от центра Земли на расстояния, соответственно равные  $R_0, R_1, R_2, \dots$ . Если участки  $B_0B_1, B_1B_2, B_2B_3, \dots$  достаточно малы, то условно можно считать, что, пролетая участок, ракета находится от центра Земли на постоянном удалении, равном среднему геометрическому тех расстояний, на которые удалены от центра Земли концы отрезка. Например, будем считать, что, пролетая участок  $B_2B_3$ , ракета находится от центра Земли на расстоянии  $\sqrt{R_2 \cdot R_3}$ . Вычислить при этом работу, которую нужно совершить, чтобы удалить ракету с расстояния  $R_0$  на расстояние  $R_n$  от центра Земли.

180. 1) На какую высоту над поверхностью Земли должна доставить космический поезд первая ступень ракеты-носителя, чтобы остальные ступени, сообщив спутнику массой 11 т кинетическую энергию  $33 \cdot 10^7 \text{ кДж}$ , обеспечили его полет по круговой орбите?

2) Каков период обращения по круговой орбите спутника Земли, имеющего массу 5,5 т и кинетическую энергию  $9,8 \cdot 10^7 \text{ кДж}$ ?

181. 1) На какой высоте над поверхностью Земли потенциальная энергия спутника на круговой орбите равна его кинетической энергии?

2) Два спутника Земли движутся по круговым орбитам на разных высотах. Какой из них обладает большей механической энергией?

182. Диаметр одного из астероидов равен 5,1 км, а плотность 5,5 г/см<sup>3</sup>. Найти: а) ускорение силы тяжести на

его поверхности; б) высоту, на которую поднялся бы космонавт, подпрыгнув на астероиде с усилием, достаточным для того, чтобы прыгнуть на высоту 65 см над поверхностью Земли.

183. Начальная скорость, которую нужно придать телу у поверхности планеты, чтобы оно, двигаясь по инерции, навсегда вышло из поля тяготения планеты, называется второй космической скоростью. Какова величина этой скорости для планеты радиуса  $R$  и массы  $M$ ?

У к а з а н и е. Воспользоваться формулой, полученной в результате решения задачи № 179.

184. Выразить вторую космическую скорость (см. задачу № 183) через радиус планеты  $R$  и ускорение силы тяжести  $g_0$  на ее поверхности.

Вычислить вторую космическую скорость для корабля, стартующего с поверхности Земли, Луны, с каждой из планет солнечной системы.

185. Известно, что для запуска спутника на круговую орбиту непосредственно у поверхности некоторой планеты, ему нужно придать скорость 12 км/сек. Какова вторая космическая скорость для этой планеты?

186. Вторая космическая скорость у поверхности некоторой планеты составляет 18 км/сек. Какова первая космическая скорость у поверхности этой планеты?

187. Как нужно изменить формулы, полученные в результате решения задач № 183 и № 184, чтобы по ним рассчитывать скорость отрыва для межпланетного корабля, разгон которого заканчивается не у поверхности планеты, а на удалении  $H$  от нее?

Вычислить минимальную скорость, которую должна получить от ракет-носителей искусственная планета солнечной системы, если ее разгон заканчивается в 430 км от поверхности Земли.

188. Астероид Гермес при диаметре 1 км имеет массу 1,4 млрд. т. Сможет ли человек, подпрыгнув, навсегда удалиться от Гермеса, если он употребит усилие, достаточное для того, чтобы на Земле прыгнуть на высоту 0,5 м?

189. Если ракета обладает достаточным запасом энергии, чтобы с поверхности Земли подняться на 1000 км, то сможет ли она, стартуя со спутника Земли, имеющего скорость 7,9 км/сек, навсегда улететь из сферы притяжения Земли?

190. В предыдущей задаче мы оговорили скорость движения спутника. Теперь предположим, что спутник движется по круговой орбите с любой скоростью (конечно, зависящей от высоты полета). Изменится ли при этом условии ответ на вопрос предыдущей задачи?

191. Во сколько раз должна была бы уменьшиться масса Земли, чтобы Луна, обладая той же скоростью, что и сейчас, навсегда оторвалась бы от Земли и стала самостоятельной планетой солнечной системы?

192. 1) Какую добавочную скорость должен был бы получить Плутон, чтобы преодолеть силу тяготения Солнца? Орбиту Плутона считать круговой.

2) Представим себе, что в солнечную систему залетело со скоростью  $20 \text{ км/сек}$  космическое тело. На каком минимальном расстоянии оно может пролететь от Солнца и все же уйти из солнечной системы? Какие из планет солнечной системы могли бы сделать это тело своим спутником?

193. На каком расстоянии от Земли будет находиться космонавт, если радиостанция Земли примет его радиосигнал на  $0,4 \text{ сек}$  раньше, чем радиостанция Луны, а угол между лучами зрения космонавта на Землю и Луну составит  $60^\circ$ ?

194. Скорость движения первых советских кораблей-спутников Земли в перигее равнялась  $7,9 \text{ км/сек}$  и составляла угол  $65^\circ$  с направлением вращения земной поверхности. Старт кораблям давался с  $47$ -й параллели. Какова величина и направление той скорости, которую корабли получали от ракет-носителей?

## ГЛАВА ТРЕТЬЯ

195. Какой длины должен быть математический маятник, чтобы на поверхности Марса он колебался с периодом  $1 \text{ сек}$ ?

196. Принимая маятник стенных часов за математический, подсчитать, что показали бы стенные часы на Луне за  $1 \text{ ч}$ .

197. Для сообщения космическому кораблю необходимой скорости составляют «космический поезд» из самого корабля и нескольких ступеней ракеты-носителя. Сколько должен весить поезд, содержащий корабль весом  $8 \text{ Т}$  и  $5$  ступеней ракеты-носителя, наименьшая из которых вместе с горючим весит  $24 \text{ Т}$ , если каждая следующая отделенная

(считая вместе с горючим) ступень ракеты уменьшает вес поезда в одно и то же число раз?

198. Спутник массой  $2,1\text{ т}$  движется со скоростью  $7,5\text{ км/сек.}$  Какое количество теплоты выделилось бы при столкновении спутника с космическим телом, если в результате столкновения спутник остановился бы относительно Земли? Сколько воды можно было бы нагреть за счет этой энергии от  $0$  до  $100^\circ\text{С}$ ?

199. Представим, что из космического корабля-спутника с высоты  $550\text{ км}$  над поверхностью Земли был отправлен по спиральной траектории на Землю контейнер массой  $95\text{ кг.}$  Для этого его орбитальную скорость уменьшили до  $6,5\text{ км/сек.}$  Контейнер был полностью заторможен атмосферой. Какое количество теплоты выделилось при этом торможении?

200. 1) Однажды в пригороде Москвы упал кусок льда массой около  $5\text{ кг.}$  При этом высказывали предположения, что этот лед — из космоса. Докажите, что если это так, то на высоте  $1000\text{ км}$  над поверхностью Земли масса льда была не менее  $85\text{ кг.}$  Примите данные, самые «невыгодные» для доказательства, а именно: на высоте  $1000\text{ км}$  температура льда равнялась —  $100^\circ\text{С}$  и он был неподвижен относительно Земли, а у поверхности Земли его скорость равнялась  $0,5\text{ км/сек.}$

2) Ознакомившись с приведенным в конце книги решением предыдущей задачи, один школьник решил продолжить доказательство. Он рассуждал так: «Если первоначальная масса льда была не  $5$ , а  $85\text{ кг,}$  то и потенциальная энергия льда была в  $\frac{85}{5}$ , т. е. в  $17$  раз больше предполагаемой. Но если энергия была больше в  $17$  раз, то она могла расплавить в  $17$  раз большую массу льда...» Повторяя эти рассуждения, он пришел к выводу, что «первоначально вся вселенная была занята этим льдом». Найдите ошибку в его рассуждениях.

201. На стекле находится большая капля ртути. Какую форму она примет, если ее вместе со стеклом поместить в космическом корабле, движущемся с выключенными двигателями?

202. Если сосуд, частично заполненный жидкостью, поместить внутри космического корабля, то что произойдет с жидкостью после выключения двигателей корабля? Разобрать два случая: для смачивающей и несмачивающей жидкости.



203. Из ракетного двигателя за время  $t$  равномерно вытекает масса газа  $m$  со скоростью истечения  $C$ . Какова сила тяги двигателя?

204. Скорость ( $C$ ) истечения газов из сопла ракетного двигателя связана с теплотой сгорания топлива ( $H$ ) и коэффициентом полезного действия двигателя ( $k$ ) математической зависимостью. Выразить эту зависимость. Определить, на сколько увеличится скорость истечения газов при переходе с пороха, имеющего теплоту сгорания  $1000 \text{ ккал/кг}$ , на жидкое топливо с теплотой сгорания  $2400 \text{ ккал/кг}$ . Предположить, что коэффициент полезного действия двигателя, равный  $0,25$ , при этом переходе не изменится.

205. Скорость истечения газов из сопла ракетного двигателя  $C = k \cdot \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ , где  $T$  — абсолютная температура газов в камере сгорания,  $\mu$  — молекулярный вес продуктов сгорания, а  $k = \text{const}$ . На сколько процентов увеличится скорость истечения газов из жидкостного ракетного двигателя, если температура увеличится с  $2500$  до  $3200^\circ \text{K}$ , а молекулярный вес топлива уменьшится с  $18$  до  $14$ ?

206. В ракетах газы выбрасываются не сразу, а постепенно. Вытекающая часть газов сообщает обратную скорость не только ракете, но и оставшемуся горючему. Это значит, что в реальной ракете горючего должно быть гораздо больше, чем предусмотрено задачей № 174 (2). Циолковский рассчитал, что вне поля тяготения конечная скорость ракеты  $v$ , скорость истечения газов из ракеты  $C$ , масса горючего  $m$  и масса самой ракеты  $M$  связаны равенством  $v = 2,3 \cdot C \cdot \lg(1 + \frac{m}{M})$ . Решить задачу № 174 (2), используя эту формулу, тем самым отказавшись от условности, сформулированной в начале задачи.

207. Какую максимальную массу может иметь одноступенчатая ракета (без горючего), чтобы, располагая  $1,2 \text{ т}$  горючего, при скорости истечения газов  $2,1 \text{ км/сек}$  ракете можно было придать скорость  $9,7 \text{ км/сек}$ . Влияние тяготения не учитывать.

208. 1) Какую скорость приобретет одноступенчатая ракета массой  $65 \text{ кг}$ , израсходовав  $0,5 \text{ т}$  горючего при скорости его истечения  $3 \text{ км/сек}$ ? Влияние тяготения не учитывать.

2) Какова должна быть скорость истечения газов из одноступенчатой ракеты, имеющей массу 8 т, чтобы, израсходовав 60 т горючего, она приобрела первую космическую скорость 7,9 км/сек? Влияние тяготения не учитывать.

209. После израсходования энергии батареи карманный фонарь теряет одну стомиллиардную часть своей массы. Какую скорость приобрел бы фонарь, если включить его в той части космоса, где практически не сказывается притяжение планет и их излучение?

210. «Когда масса ракеты,—писал К. Э. Циолковский,—плюс масса взрывчатых веществ, имеющихся в реактивном приборе, возрастает в геометрической прогрессии, то скорость ракеты увеличивается в прогрессии арифметической».

Доказать это, исходя из формулы Циолковского. Массу самой ракеты без топлива считать неизменной, а ракету одноступенчатой.

211. Пусть ракета имеет  $n$  ступеней, скорость истечения газов из двигателей каждой ступени равна  $C$ , а  $k_1, k_2, \dots, k_n$  — отношения начальной и конечной масс ступеней ракеты (в числителе — начальная масса каждой ступени, включающая массы всех последующих ступеней, а в знаменателе — она же без топлива, заключенного в данной ступени). Тогда вне поля тяготения конечная скорость  $n$ -й ступени  $v_n = 2,3 \cdot C \cdot \lg(k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)$ .

Доказать это, исходя из формулы Циолковского, приведенной в задаче 206.

212. В иностранной литературе сообщались\* результаты испытаний модельного электродвигателя, выбрасывавшего гелий и водород со скоростью до 15 км/сек. Какую скорость развила бы третья, последняя, ступень ракеты, если бы ее снабдить такими двигателями? Отношение начальной и конечной масс в каждой ступени считать равной 5.

213. 1) Предположим, что трехступенчатая ракета имеет следующие данные:

1-я ступень:	масса ракеты	2000 кг,	масса топлива	8000 кг,
2-я	»	400 »	»	1600 »,
3-я	»	80 »	»	320 ».

Скорость истечения газов из каждой ступени равна 2,5 км/сек.

\* I. Richard, I. Connors, A. Mironer, в книге «XI Internat. Astronaut. Congr.», Stockholm, 1960, стр. 232—245.

Какова будет конечная скорость третьей ступени ракеты вне поля тяготения? Какова была бы эта скорость, если бы ракета не была составной?

2) Предположим, что четырехступенчатая ракета имеет следующие данные:

1 - я ступень:	масса ракеты	3100 кг,	масса топлива	12 400 кг,
2 - я	»	»	620 »	» 2 480 »,
3 - я	»	»	120 »	» 500 »,
4 - я	»	»	24 »	» 96 ».

Конструктору удалось увеличить скорость истечения газов из двигателей каждой ступени с 2,6 до 2,7 км/сек. На сколько благодаря этому увеличится конечная скорость последней ступени вне поля тяготения?

3) Если трехступенчатая ракета имеет следующие данные:

1 - я ступень:	масса ракеты	3000 кг,	масса топлива	12 000 кг,
2 - я	»	»	600 »	» 2 400 »,
3 - я	»	»	120 »	» 480 »,

то при какой скорости истечения газов из двигателей третья ступень вне поля тяготения разовьет скорость 11 км/сек?

214. Вторая ступень двухступенчатой ракеты вне поля тяготения должна развить скорость 6,9 км/сек при скорости истечения газов из двигателей каждой ступени 2,9 км/сек. Какое количество топлива должна содержать вторая ступень ракеты, если первая ступень ракеты имеет массу 2,8 т и содержит 11 т горючего, а масса второй ступени 0,55 т?

215. Какую часть земной поверхности мог видеть экипаж космического корабля «Восход» с высоты 409 км?

216. Объем звезды «Возничего» в 20 млрд. раз больше объема Солнца. Вычислить диаметр звезды и сравнить его с диаметром орбиты Сатурна.

217. Расстояние от Солнца до Земли в 388 раз больше расстояния от Земли до Луны. Опираясь на то, что при полном солнечном затмении контуры Солнца и Луны совпадают, и не пользуясь другими числовыми данными, подсчитать, во сколько раз объем Солнца превышает объем Луны.

218. Зная, что атмосферное давление на Земле составляет около 1 кг/см<sup>2</sup>, вычислить вес земной атмосферы.

219. Самые южные области Советского Союза простираются до широты  $35^\circ$ . Какой угол образует там плоскость горизонта с экватором?

220. Термопара из двух сплавов хромель-копель при разности температур  $100^\circ \text{град}$  на концах создает термоэлектродвижущую силу, равную  $0,062 \text{ в}$ . Какую электродвижущую силу будет создавать термопара, если один ее конец будет находиться за бортом космического корабля, где температура равна  $-273^\circ \text{С}$ , а второй — в кабине корабля при температуре  $17^\circ \text{С}$ ?

221. Термопара хромель-копель (см. задачу № 220) при той же температуре внутри корабля создает термоэлектродвижущую силу  $0,11 \text{ в}$ . Какова температура за бортом корабля?

222. На одном из искусственных спутников Земли работали два радиопередатчика. Определить, на какой длине волны работал первый из них, если частота излучаемых им колебаний равнялась  $40,002 \text{ Мгц}$ . Вычислить, на какой частоте работал второй, если длина излучаемых им радиоволн была около  $15 \text{ м}$ .

223. Прямой солнечный свет, падая на площадку размером  $1 \text{ см}^2$ , установленную перпендикулярно солнечным лучам и отстоящую от Солнца на расстоянии среднего радиуса земной орбиты, сообщает ей за  $1 \text{ мин}$   $2 \text{ кал}$  теплоты. Определить (в  $\text{квт}$ ) мощность, получаемую солнечной батареей спутника Земли, если общая площадь пластин батарей, ориентированных перпендикулярно солнечным лучам, составляет  $5 \text{ м}^2$ . Удаленностью спутника от Земли пренебречь.

224. Определить мощность электрической энергии, вырабатываемой солнечной батареей спутника Земли, имеющей к. п. д.  $13\%$ . (Недостающие данные взять из условия задачи № 223.)

225. Определить (в  $\text{квт}$ ) мощность потока энергии, получаемой Землей от Солнца. Определить общую мощность солнечного излучения (в  $\text{квт}$ ).

226. На какую планету падает больше солнечного излучения: на Землю или Юпитер? Где холоднее?

227. Каков диаметр действительного изображения Солнца, получаемого с помощью объектива, фокусное расстояние которого  $3 \text{ м}$ ?

228. Планета Марс при наибольшем приближении к Земле имеет угловой диаметр  $24''$ . Каков будет диаметр ее

фотографического изображения, полученного с помощью рефрактора, у которого фокусное расстояние равно 19,5 м?

**229.** Шкала звездного блеска составлена так, что отношение блеска звезд двух смежных величин постоянно и равно 2,512. Во сколько раз звезда 6-й величины светит слабее, чем звезда 1-й величины?

**230.** С 20 по 22 февраля 1901 года блеск новой звезды, вспыхнувшей в созвездии Персея, увеличился в 25 тыс. раз. Каково было соответствующее увеличение блеска в звездных величинах?

**231.** Сколько звезд 16-й величины, соединенные вместе, светили бы так же, как одна звезда первой величины?

**232.** Яркость Солнца больше яркости Луны на 14,2 звездных величины. Во сколько раз Солнце светит ярче Луны?

**233.** Самые слабые звезды, видимые невооруженным глазом, относятся к 6-й величине. При очень продолжительных экспозициях с помощью сильнейших телескопов удастся получить снимки звезд 23-й величины. Во сколько раз меньшую яркость воспринимает современная техника по сравнению с человеческим глазом?

**234.** Третий советский искусственный спутник Земли в первый день полета имел следующие удаления от поверхности Земли: в перигее 226 км, в апогее 1881 км. Вычислить длины полуосей и полуфокусного расстояния эллиптической орбиты спутника.

**235.** Пользуясь вторым законом Кеплера, подсчитать отношение скоростей третьего советского искусственного спутника Земли в перигее и апогее орбиты. (Числовые данные взять из предыдущей задачи.) Найти эти скорости.

**236.** Для полета с одной планеты солнечной системы на другую с наименьшим расходом горючего следует придерживаться полуэллиптической траектории полета. На концах большей полуоси эллипса должны находиться планеты (одна в момент старта, а другая в момент финиша), а в фокусе — Солнце. Эллипс должен касаться орбиты одной планеты внутренним образом, а орбиты другой — внешним. Подсчитать длины полуосей и полуфокусные расстояния полуэллиптических траекторий полета с любой планеты на каждую планету солнечной системы.

**237.** Может ли спутник Земли двигаться по эллипсу с полуосями 15 000 и 10 000 км?

**238.** Искусственный спутник Земли движется по эллипсу с полуосьми 20 000 и 15 000 км. Какую скорость сообщили спутнику в перигее орбиты?

**239.** Первый в мире управляемый спутник Земли, запущенный в Советском Союзе 1 ноября 1963 г., на первом витке был удален от поверхности Земли в перигее на 339 км, а в апогее на 592 км. После сеанса радиоуправления расстояние спутника от Земли в перигее орбиты составляло 343 км, а в апогее — 1437 км. На сколько при этом изменились скорости спутника в апогее и перигее орбиты?

**240.** Космический корабль-спутник «Восток-1» в перигее орбиты (181 км от поверхности Земли) имел скорость 7,9 км/сек. Вычислить скорость и удаление корабля от поверхности Земли в апогее орбиты.

**241.** Какую наименьшую скорость нужно сообщить телу у поверхности Земли, чтобы оно достигло Луны?

**242.** Со спутника, двигающегося по круговой орбите на высоте 650 км от поверхности Земли, стартовала ракета, получившая вперед по ходу спутника добавочную скорость 900 м/сек. Каковы будут полуоси и полуфокусное расстояние эллиптической орбиты ракеты?

**243.** Корабль-спутник обращается по эллипсу, удаляясь от поверхности Земли в перигее на 330 км, а в апогее на 430 км. Космонавт собирается отправить на Землю контейнер с подопытными животными. Откуда это легче всего сделать и какую для этого скорость в направлении, противоположном движению корабля, нужно сообщить контейнеру? Влияние атмосферы не учитывать.

**244.** Вообразим, что на экваторе Земли построена вышка высотой 25 тыс. км. Сможет ли человек спрыгнуть с нее на Землю? Атмосферу в расчет не принимать.

**245.** Какой высоты вышка понадобилась бы на экваторе Земли, чтобы с нее без затраты энергии можно было: а) запустить спутник на круговую орбиту? б) отправиться в полет на Луну? в) вылететь в межпланетное пространство?

**246.** При запуске межпланетной автоматической станции «Марс-1» ей была сообщена начальная скорость, обеспечивающая вывод станции из поля тяготения Земли и перевод ее с орбиты Земли на орбиту Марса. Какая минимальная начальная скорость обеспечила бы выполнение этих задач? Предположить, что разгон станции закончился в 400 км от поверхности Земли.

**247.** 1) Какова должна быть минимальная начальная скорость полета на Венеру, если двигатели заканчивают работу в 500 км от поверхности Земли?

2) Какую минимальную скорость должен развить у поверхности Марса космический корабль, чтобы, двигаясь дальше с выключенными двигателями, он вернулся на Землю?

**248.** 1) Рассчитайте минимальные начальные скорости отлета космических кораблей с поверхности Земли на планеты Меркурий, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон.

2) Рассчитайте минимальные начальные скорости отлета с планет Меркурий, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун для возвращения на Землю.

**249.** Какую наименьшую скорость нужно придать космическому кораблю у поверхности Меркурия, чтобы он при наименьшем расходе топлива попал на Венеру?

**250.** 1) Третьей космической скоростью называют скорость, которую надо придать телу у поверхности планеты, чтобы, двигаясь по инерции, тело вышло из поля тяготения Солнца. Какова величина этой скорости при старте с поверхности Земли?

2) Подсчитать третьи космические скорости для кораблей, стартующих с поверхностей каждой из планет солнечной системы.

**251.** Какую горизонтальную скорость нужно придать телу на расстоянии трех земных радиусов от центра Земли, чтобы оно: а) упало на Землю? б) стало спутником Земли, не удаляющимся от центра Земли дальше трех земных радиусов? в) стало спутником Земли с круговой орбитой? г) стало спутником Земли, не приближающимся к центру Земли ближе трех земных радиусов? д) стало планетой солнечной системы? е) улетело из солнечной системы?

**252.** 1) Какую наименьшую скорость должна развить ракета у поверхности Луны, чтобы по инерции улететь из солнечной системы?

2) Целесообразно ли будет, имея в виду расход топлива, использовать Луну как промежуточную станцию для полетов с Земли к звездам?

**253.** 1) Какую скорость нужно придать телу у поверхности Земли, чтобы оно попало на поверхность Солнца?

2) Какие наименьшие скорости должны получить тела поверхностей Меркурия и Плутона, чтобы попасть на поверхность Солнца?

**254.** Период обращения Плутона вокруг Солнца равен 250 годам. Пользуясь третьим законом Кеплера, вычислить большую полуось его орбиты и сверить получившийся результат с табличным.

**255.** Марс дальше от Солнца, чем Земля, в 1,52 раза. Какова продолжительность «года» на Марсе?

**256.** Советская космическая ракета «Мечта» стала первой искусственной планетой солнечной системы, удаленной от Солнца в среднем на 170 млн. км. Определить период ее обращения вокруг Солнца.

**257.** Нептун открыт в сентябре 1846 г. Не пользуясь табличным значением периода обращения Нептуна вокруг Солнца, вычислить, в каком году он завершит свой первый оборот вокруг Солнца с момента открытия.

**258.** В романе «Гектор Сервадак» Жюль Верн описал вымышленную комету «Галия». Период ее обращения вокруг Солнца составлял 2 года, а расстояние от Солнца в афелии равнялось 820 млн. км. Применяя третий закон Кеплера, проверьте, могла бы существовать такая комета.

**259.** Докажите, исходя из формулы (44), что искусственные спутники Земли, движущиеся по круговой орбите, подчиняются третьему закону Кеплера.

**260.** 1) Начальные периоды обращения первых восьми искусственных спутников Земли (советских и американских) имели значение от 96,2 до 134 мин. В каких пределах были заключены величины больших полуосей их орбит?

2) После совершения одной тысячи оборотов вокруг Земли первый искусственный спутник Земли уменьшил период своего обращения с 96,2 до 92,7 мин. На сколько при этом уменьшилась средняя высота полета спутника над поверхностью Земли?

**261.** Один спутник Земли имеет скорости: в перигее 5 км/сек и в апогее 1,25 км/сек. Каков должен быть радиус круговой орбиты второго спутника, чтобы он имел такой же период обращения, как первый?

**262.** Рассчитать время полета к Марсу, к Венере по траектории, требующей наименьшего расхода горючего.

**263.** Если полеты с Земли на Венеру и на Меркурий, более удаленный от Земли, будут протекать по полуэллиптическим орбитам (требующим наименьшего расхода горючего), то какой из этих перелетов займет меньшее время?



264. Перелет по полуэллиптическим траекториям между разными планетами займет разное время. Между какой парой планет солнечной системы он будет самым кратковременным? самым длительным?

265. Рассчитайте время полета на Луну с самым экономным расходом горючего.

266. Какое время займет полет ракеты-зонда с Земли на поверхность Солнца при самом экономном расходе горючего?

267. Как часто можно будет отправлять корабли на Марс, если придерживаться полуэллиптической траектории полета? Как часто можно будет отправлять корабли с Земли на каждую из планет солнечной системы, если придерживаться полуэллиптических траекторий полета?

268. Заботясь об экономии горючего, космонавты, перелетев с Земли на любую другую планету, должны будут выжидать момент обратной отправки. Как долго будет длиться это выжидание для возвращения с Марса на Землю? с Венеры на Землю? Считать, что перелет туда и обратно происходит по полуэллиптическим орбитам.

269. Из теории относительности следует, что если на Земле и на звездолете, движущемся относительно Земли с постоянной скоростью  $v$ , будет одновременно начат, а затем одновременно закончен отсчет времени, то время, отсчитанное на Земле ( $t_0$ ), и время, отсчитанное на звездолете ( $t_1$ ), будут связаны равенством  $t_1 = t_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ , где  $c$  — скорость света.

Учитывая этот «парадокс времени», подсчитайте, какой промежуток времени пройдет на звездолете, движущемся со скоростью 100 тыс. км/сек, за 50 земных лет.

270. Валерий Быковский пробыл по земному времени 119 ч на корабле «Восток-5», движущемся относительно Земли со скоростью 8 км/сек. На сколько «меньше прожил» за это время Быковский по сравнению с любым обитателем Земли?

271. С какой постоянной скоростью должен двигаться звездолет, чтобы его экипаж, пробыв в полете 20 лет, постарел всего на 15 лет?

272. Какое время (по земному летоисчислению) должен пробыть в полете со скоростью 250 000 км/сек отец, чтобы, вернувшись на Землю, сравняться по возрасту со своим

сыном? Возраст отца при отправке принять равным 25 годам, а сына — 3 годам.

273. Время разгона звездолета с постоянным ускорением  $a$ , отсчитанное земным наблюдателем ( $t_a$ ) и экипажем звездолета ( $t_k$ ), будут связаны равенством  $t_a = \frac{c}{a} \operatorname{arcsin} \frac{at_k}{c}$ , где  $c$  — скорость света.

Учитывая это, подсчитайте, какое время разгона звездолета зафиксирует Земля, если, по подсчетам экипажа, разгон с ускорением  $1 \text{ м/сек}^2$  будет длиться 5 лет.

274. Какое время разгона звездолета с ускорением  $2 \text{ м/сек}^2$  зафиксируют звездоплыватели, если по земному времени оно будет длиться 3 года?

275. На сколько увеличится возраст звездоплывателей за время полета к звезде  $\alpha$  Центавра, если полет будет протекать по графику, описанному в задаче № 101?

276. Результаты измерений одного и того же пути, проведенные с Земли и со звездолета, будут связаны равенством

$l_1 = l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ , где  $l$  — результат измерения с Земли,  $l_1$  — результат измерения со звездолета,  $v$  — скорость звездолета относительно Земли,  $c$  — скорость света.

Учитывая это, рассчитайте, с какой скоростью должен двигаться звездолет, чтобы пройденный путь, при измерении его экипажем, оказался вдвое короче, чем при измерении с Земли.

## ОТВЕТЫ, УКАЗАНИЯ И РЕШЕНИЯ

1. 743\*.
2. 28.
3.  $\frac{1}{2000}$ .
4. 780 млн. км. Юпитер.
5. Шар не поднимается с поверхности Луны. Шар полетел бы вверх. Шар остался бы лежать на поверхности планеты.
6. Справедливы и тот и другой.
7. Нет.
8. Нет.
9. Нет.
10. Нет; да.
11. Да.
12. Из-за невесомости естественная циркуляция газа почти не имеет места. Если нет и принудительного перемещения газа, то возможны только теплопроводность и лучеиспускание.
13. Нет. Из-за изменения температуры меняются и размеры.
14. 8 м.
15. В 20 000 раз.
16. 5 лет.
17. 3,0 км/сек.
18. Через 400 тыс. лет.
19. 30 км, 2,6 млн. км, 940 млн. км.
20. 10 м. Эта разница не зависит от радиуса планеты.
21. На 2600 км.
22. 1 км/сек.
23. 7,8 км/сек.
24. 15'.
25. 2,5'.
26. 28'.
27. Обозначив искомое время в годах  $t$ , получим

$$\frac{t}{1} - 1 = \frac{t}{1,881},$$

откуда  $t \approx 2,1$  года. Один раз в 15—17 лет бывает так называемое «великое противостояние», когда Марс особенно близко подходит к Земле (на 56 млн. км).

28. 225 земных суток.

---

\* Здесь и везде дальше ответы округлены.

29. 669.

30. 12 лет.

31. 16 ч.

32. 710 км. В начале движения спутник был выше, но постепенно снижался; после 2370 оборотов он вошел в плотные слои атмосферы и испарился.

33. Пусть массы Земли и Луны равны соответственно  $M$  и  $M_1$ , расстояние между их центрами  $R$ , а искомое расстояние  $x$ . Тогда на основании формулы (24) имеем:

$$\frac{x}{R-x} = \frac{M_1}{M}, \text{ откуда } x = \frac{M_1 R}{M+M_1} \approx 4770 \text{ км},$$

что приближенно составляет  $\frac{2}{3}$  радиуса Земли.

34. Центр тяжести системы Солнце—Юпитер отстоит от центра Солнца на 7 млн. км (выходит за его пределы), а центр тяжести системы Солнце—Плутон находится в самом Солнце—в 18 тыс. км от его центра.

35.  $38 \cdot 10^{23}$  км.

36. Колебательным. В центре Земли скорость камня была бы максимальной. Вследствие силы сопротивления воздуха колебания камня были бы затухающими. Камень остановился бы в центре Земли.

Следует различать существующее в природе вечное движение и несуществующий вечный двигатель. Под вечным двигателем понимается машина, совершающая работу без уменьшения запасов сообщенной ей энергии. Если рассматриваемый камень заставить производить работу, то кинетическая энергия камня будет уменьшаться. Следовательно, он не вечный двигатель. Вечный двигатель принципиально невозможен, и изобретать его бесполезно.

37. 8 мин 20 сек

38. 9 лет.

39. 52 тыс. лет

40. 7,1 а. е.

41. 0,022 а. е.

42.  $95 \cdot 10^{11}$  км.

43.  $10^{19}$  км.

44. 63 тыс. а. е.

45.  $31 \cdot 10^{12}$  км.

46. 210 тыс. а. е.

47. В  $31 \cdot 10^{31}$  раз.

48.  $5 \cdot 10^{11}$  Т.

49. Дуга  $AB$  (рис. 4) содержит  $7^\circ, 2$ , на которые приходится  $\frac{7,2}{360} = \frac{5 \cdot 157,5}{x}$  находим  $x \approx 40$  тыс. км.

50. Можно подсчитать, что  $\angle AOB$  (рис. 5) составляет  $9^\circ, 5$ , а длина дуги  $AB$  составляет  $\frac{9,5}{360}$  часть длины всего меридиана, т. е. приближенно 1100 км.

51. Пусть расстояние от наблюдателя до Луны равно 380 тыс. км

Тогда дуга  $AmB$  (рис. 6) составляет  $\frac{32}{360 \cdot 60}$  часть окружности с радиусом 380 тыс. км, т. е. имеет длину около 3,5 тыс. км. Это и можно принять за приближенное значение диаметра Луны. Истинное значение только на 20 км меньше.

52. 384 тыс. км.

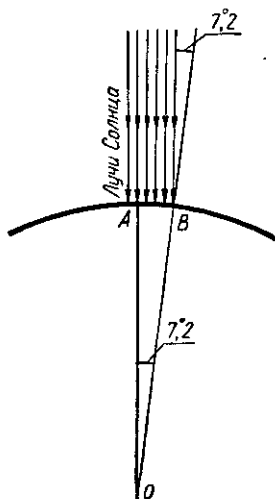


Рис. 4.

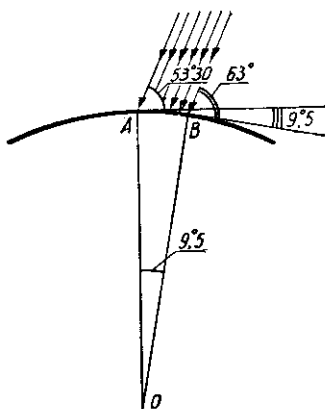


Рис. 5.

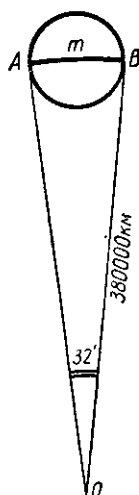


Рис. 6.

53. 110 км.

54.  $3 \cdot 10^{13}$  км.

55. 1,6 млн. км.

56. 60 м.

57. Из ответа к задаче № 53 следует, что невооруженным глазом с Земли можно различать на Луне предметы, имеющие поперечник не менее 110 км. Средняя толщина человека в скафандре равна 0,5 м, т. е. в 220 тысяч раз меньше величины, различаемой невооруженным глазом. Таково и должно быть минимальное увеличение телескопа.

58. Не менее, чем в 380 раз.

59. Из подобия треугольников  $AOB$  и  $COD$  (рис. 7) следует, что

$$\frac{x}{3480} = \frac{500}{15}, \text{ откуда } x \approx 120 \text{ тыс. км.}$$

60. 53 см.

61. 600 тыс. км.

62. Обозначив расстояние до Луны —  $x$ , удаление монеты от глаза при перекрытии контура Луны —  $y$ , диаметр монеты —  $d$ , получим систему уравнений:

$$\frac{3480}{x} = \frac{d}{y}$$

$$\left| \frac{12740}{x+3 \cdot 10^5} = \frac{d}{2y}, \right.$$

откуда найдем, что расстояние до Луны составляет 47 тыс. км, а до Земли 347 тыс. км.

63. 80 тыс. км от центра Луны.

64. Отношение радиусов Солнца и Земли (рис. 8) приблизительно

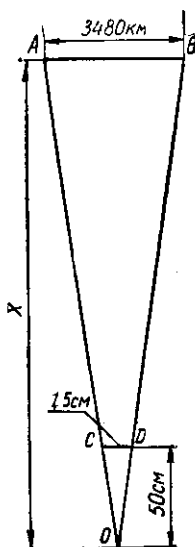


Рис. 7.

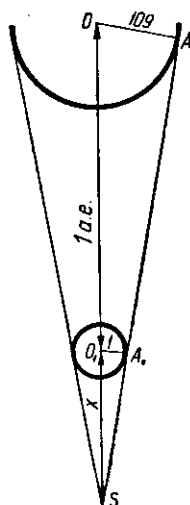


Рис. 8.

равно 109. Принимая за длину конуса тени отрезок  $SO_1 = x$ , получим из подобия треугольников  $AOS$  и  $A_1O_1S$ :

$$\frac{x+1}{x} = 109, \text{ откуда } x = 1/108 \text{ а.е.} \approx 1,4 \text{ млн. км.}$$

65. 9 тыс. км.

66. Полное солнечное затмение.

67. При увеличении расстояния затмение было бы неполным, а при уменьшении оно длилось бы дольше.

68. Не менее 9 км.

69. 4 мин 20 сек.

70. 270 тыс. км.

71. За 14 400 сек звездоплаватель удалится на 300 тыс. км; следовательно, скорость его удаления составит около 21 км/сек.

72. П. Попович раньше на  $\frac{1}{60}$  сек.

73. Обозначив диаметр Земли —  $D$ , высоту человека —  $h$  (рис. 9), по формуле (14) получим  $AB^2 = (D + h) \cdot h$ ; так как  $h \ll D$ , то (пренебрегая величиной  $h$  в скобках) получаем:

$$AB = \sqrt{Dh}. \quad (38)$$

Подставив числовые данные, находим  $AB_3 \approx 4,5$  км.

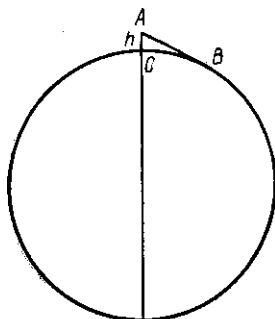


Рис. 9.

74. Пользуясь формулой (38), находим:  $AB_4 = \sqrt{3480 \cdot 0,0016} \approx 2,3$  км.

На Меркурии — 2,8 км; на Венере — 4,4 км; на Марсе — 3,3 км; на Юпитере — 15 км; на Сатурне — 14 км; на Уране — 9 км; на Нептуне — 9 км; на Плуtone предположительно около 4,3 км.

75. Из формулы (38) следует, что  $h = 7$  м.

76. 20 тыс. км.

77. Чтобы ответить на вопрос задачи, необходимо сложить дальность горизонта для гребня вала с дальностью горизонта для наблюдателя, стоящего в центре котловины. Получим приблизительно 75 км, а радиус котловины 45 км. Значит,

космонавт увидит гребень вала.

78. Рассуждая аналогично тому, как это делалось при решении задачи № 73, но уже не пренебрегая величиной  $h$  в скобках, получим:

$$AB = \sqrt{(D+h)h} \approx 1500 \text{ км.}$$

Дуга  $BC$  (рис. 9), являясь криволинейной стороной треугольника  $ABC$ , на основании (1) больше разности двух других сторон, т. е. больше 1300 км. Терешкова могла одновременно видеть удвоенную длину дуги  $BC$ , т. е. ее видимость простиралась по поверхности Земли более чем на 2600 км, что включает в себя расстояние от Москвы до Берлина.

79. 12 часов дня; через  $3\frac{2}{3}$  мин; 5 августа.

80. Поверхность спутников отражает солнечный свет.

81. В полете спутники вращаются, меняя тем самым величину отражающей поверхности.

82. По формуле (16) получим  $16 \cdot 10^{10}$  км<sup>3</sup>.

83. По формулам (16) и (23) найдем 1,4 млрд. т.

84.  $m = 0,3 \cdot 10^{-23}$  г/см<sup>3</sup> ·  $\pi \cdot 600^2 \cdot 5,95 \cdot 10^{16}$  см<sup>3</sup>  $\approx 17$  г.

85. Учитывая, что радианная мера малого угла приблизительно равна его синусу, получаем:  $\sin 0,288 \approx \frac{0,288 \cdot \pi}{3600 \cdot 180} = \frac{\pi}{225 \cdot 10^4}$ , а искомое расстояние  $AO$  (рис. 10) составляет  $1 : \frac{\pi}{225 \cdot 10^4} \approx$

$\approx 700$  тыс. а. е.

86. 384 тыс. км.

87.  $14^\circ$ .

88. От 180 000 до 540 000 км.

89. Из треугольников  $O_1O_2A_1$  и  $O_1O_2A_2$  (рис. 11) на основании

(5) найдем  $\frac{d_1}{d_2} = \frac{\sin 16'}{\sin 8''{,}8} \approx 109$ .

90.  $r \approx 58''{,}2 \cdot \operatorname{ctg} 40^\circ \approx 70''$ . Длина дуги  $AA_1$  (рис. 12) равна

$$\frac{2\pi \cdot 10^{15} \cdot 70''}{3600'' \cdot 360} \approx 34 \cdot 10^{10} \text{ км.}$$

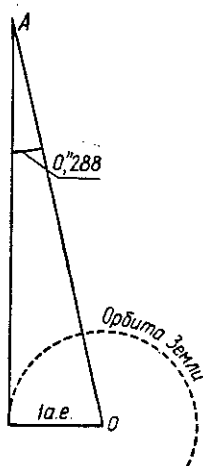


Рис. 10.

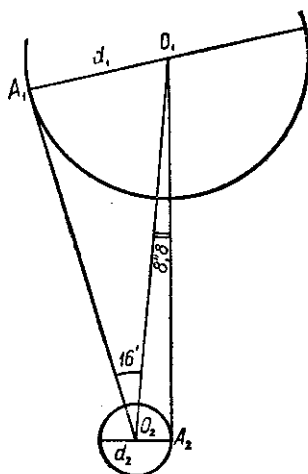


Рис. 11.

91. Из треугольника  $OO_1M$  (рис. 13) находим  $r = 6370 \cos \varphi$ , откуда интересующая нас длина составляет

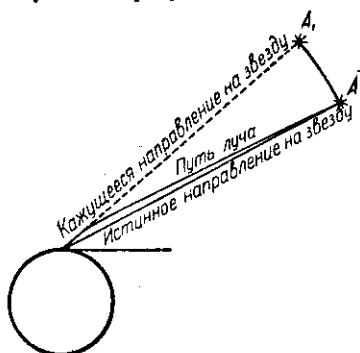


Рис. 12.

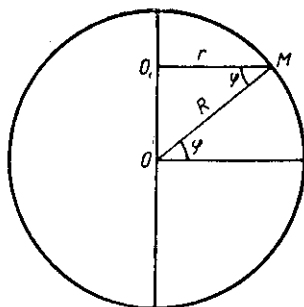


Рис. 13.



$$\frac{2\pi \cdot 6370 \cdot \cos \varphi}{60 \cdot 360} \approx 1,85 \cos \varphi \text{ км.}$$

92. Учитывая результаты решения задач 24 и 91, находим  
 $v = 1,85 \cos \varphi \cdot 15 \approx 27,6 \cos \varphi \text{ км/мин.}$  (39)

93.  $73^\circ$ .

94. Там, где  $\cos \varphi$  вдвое меньше  $\cos 50^\circ 27'$ , т. е. на широте  $\varphi \approx 31,5^\circ$ .

95. Спутники, запущенные вдоль экватора, столкнутся, а те, что запускают на север и юг, столкнуться не могут, так как они будут обращаться в разных плоскостях, угол между которыми равен углу поворота Земли за 1 мин. В сторону вращения Земли, т. е. на восток, спутник запустить легче, так как при этом используется скорость вращения Земли, дополняющая скорость, сообщаемую ракетой-носителем. Труднее всего запускать спутник на запад.

96. Из формулы (39) следует, что  $v \approx 0,3 \text{ км/сек.}$

97. На основании (21)  $a \approx 18 \text{ м/сек}^2$ . Фактически ускорение было переменным. В промежутках между отделением одной ступени ракеты и до начала работы другой ускорение было отрицательным. Зато во время работы двигателей ускорение было гораздо больше среднего. Кроме того, следует учитывать, что первая ступень ракеты вначале только поднимала космический поезд вертикально, не сообщая ему горизонтальной скорости.

98. За 3,3 мин.

99. 320 суток.

100. 35 ч;  $-7 \text{ см/сек}^2$ . Фактически замедление не было равномерным, а уменьшалось с удалением от Земли.

101. Из формулы (21) следует, что на разгон и торможение понадобится по 0,5 года. Длина каждого из этих участков на основании (22) равна  $11 \cdot 10^{11} \text{ км}$ , или  $\frac{1}{9}$  св. года. Участок равномерного

движения составит  $5 - 2 \cdot \frac{1}{9} = 4 \frac{7}{9}$  св. года, а время, необходимое на весь путь,  $\frac{1}{2} + 2 \cdot 4 \frac{7}{9} + \frac{1}{2} = 10 \frac{5}{9}$  года.

102. 1) Расстояние  $S = \frac{10}{4} = 2,5$  св. года, время  $t = \frac{60}{4} = 15$  лет и искомое ускорение  $a$  должны удовлетворять равенству (22) при  $v_0 = 0$ . Значит,  $a = \frac{2S}{t^2} = \frac{2 \cdot 2,5 \cdot 95 \cdot 10^{14} \text{ м}}{(15 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600)^2 \text{ сек}^2} = 0,2 \text{ м/сек}^2$ .

2) 100 млн. км.

103. Земное тяготение, плотность атмосферы и масса ракеты уменьшились. Первый участок пройден за  $\frac{18}{25}$  мин, второй — за  $\frac{8}{13}$  мин.

104. Они падают, но не успевают упасть. Скорость их движения такова, что, «упав» на расстояние  $BC$  (рис. 14) по вертикали, спутник успевает переместиться на расстояние  $AB$  по горизонтали. В результате он оказывается на таком же расстоянии  $CE$  от поверхности Земли, что и раньше ( $AD$ ).

105. 1) Луна. 2) Все планеты солнечной системы.

106. Все, кроме бега на скорость.

107. Тело будет продолжать движение по той же орбите, что и корабль. Расстояние между ними не будет меняться.

108. Аппарат, имеющий такую же скорость, как центр тяжести корабля, проплывал бы за один оборот путь, больший по сравнению с кораблем на  $2\pi(R + 0,5) - 2\pi R = \pi$  м.

Значит, за один оборот вокруг Земли аппарат, не встретивший сопротивления, проплывал бы внутри корабля около 3 м.

109. Известно, что у поверхности Земли свободно падающее тело за первую секунду проходит путь, равный  $g_0/2$ . Если  $AB$  (рис. 14) — расстояние, проходимое спутником за одну секунду по горизонтали, то  $BC = g_0/2$ ;  $OA = OC = R$  — радиусы Земли. По условию задачи величинами  $AD$  и  $CE$  пренебрегаем. На основании (14) имеем:

$$AB = \sqrt{\left(2R + \frac{g_0}{2}\right) \frac{g_0}{2}}.$$

Пренебрегая величиной  $g_0/2$  в скобках, получим:

$$v = \sqrt{g_0 R}. \quad (40)$$

Эта формула называется формулой круговой скорости. По ней вычисляется минимальная скорость, которую нужно придать телу у поверхности небесного тела, чтобы первое стало спутником второго. У поверхности Земли эта скорость равна  $\approx 7,9$  км/сек.

110. По строго круговой траектории спутник движется, если его скорость  $AB_1$  (рис. 15а) точно соответствует расчетной (см. № 109). Практически спутникам сообщают большую скорость  $AB$ .

111. 1) Уменьшение скорости переводит эллиптическую траекторию в круговую. Дальнейшее непрерывное уменьшение скорости переводит круговую орбиту в спираль. Этим и объясняется то, что первые искусственные спут-

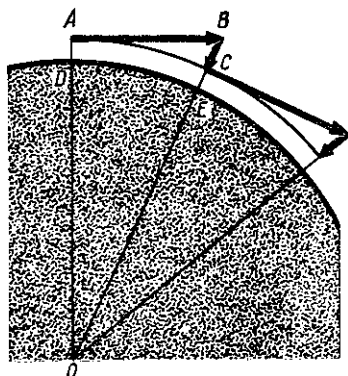


Рис. 14.

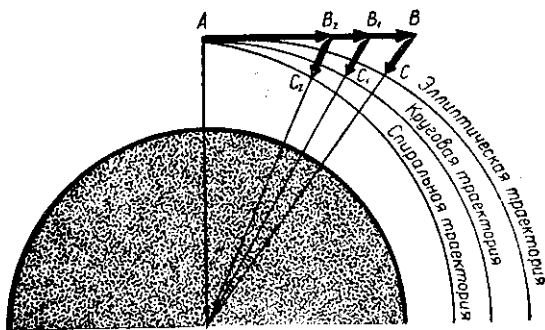


Рис. 15 а.

ники Земли существовали ограниченное время. Попадая в плотные слои атмосферы, они нагревались до огромной температуры и испарялись.

2) Практически можно. На высоте порядка нескольких тысяч километров сопротивление воздуха почти не влияет на полет спутника. Кроме того, на спутнике можно установить небольшие ракеты, которые будут, по мере надобности, выравнивать скорость спутника до необходимой.

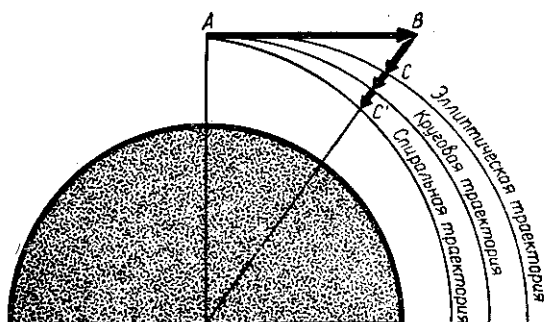


Рис. 15 б.

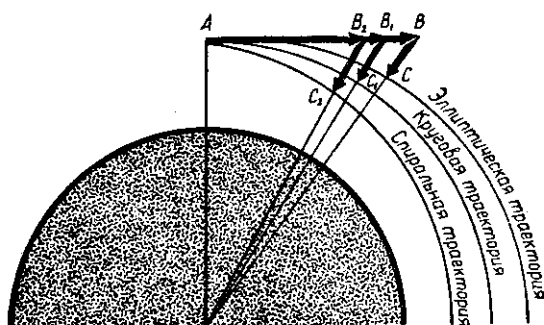


Рис. 15 в.

112. Ракета-носитель оказывается ниже спутника потому, что она сходит с эллиптической орбиты на круговую, а затем и спиральную. Это возможно либо за счет систематического уменьшения горизонтальной скорости  $AB$  (рис. 15а), либо за счет увеличения вертикальной скорости  $BC$  (рис. 15б). В практике происходит и то и другое (рис. 15в), но второе вызывается первым. Уменьшение горизонтальной скорости у ракеты происходит интенсивнее, чем у спутника, так как она имеет менее обтекаемую форму, чем спутник,

и поэтому больше тормозится атмосферой. Следует учитывать и то, что толчок отрыва ракеты от спутника, увеличивая бывшую до этого скорость спутника, уменьшает скорость ракеты. Таким образом, ракета, оказавшись ниже спутника, имеет меньшую, а не такую же, как у спутника, скорость. В этом и заключается ошибка в постановке задачи.

113. Нет, не может. Для устойчивого движения в некоторой плоскости необходимо, чтобы вектор силы, действующей на спутник, лежал в той же плоскости.

114. Из ответа к задаче № 110 следует, что тело станет двигаться по эллипсу, охватывающему орбиту корабля.

115. Космонавт может достигнуть желаемого тремя способами. 1) Уменьшить скорость тела по сравнению со скоростью корабля, т. е. отбросить тело назад. 2) Перевести тело на орбиту меньшего радиуса, где, для того чтобы остаться на орбите, телу нужна большая горизонтальная скорость, чем имеется у корабля, а значит, и у тела. Для этого тело нужно отбросить вниз. 3) Сочетая первое со вторым, можно отбросить тело назад и вниз. Наиболее эффективным (энергетически экономным) является первый способ.

116. И корабль, и тела внутри него «падают» с одинаковыми скоростями. При таком положении никакое тело не может догнать свою опору, а значит, и давить на нее. Это явление и называется невесомостью.

117. По формуле (22) находим, что падение длилось 144 сек. Значит, невесомость при взлете длилась  $180 - 144 = 36$  сек. По формулам (21) и (22) находим, что невесомость наступила на высоте 94 км при скорости 240 м/сек.

118. По формуле (22) находим  $AB = 240$  м.

119. По формуле (28) находим, что при отвесном старте с Земли допустимо ускорение  $3g_0$ , при отвесном спуске —  $5g_0$ , при движении вокруг Земли у ее поверхности —  $g_0\sqrt{15}$ , вне поля тяготения —  $4g_0$ .

120. По формуле (21), считая  $a = g_0\sqrt{15}$ , найдем  $t = 5$  мин.

121. Пользуясь формулами (21), (22), (28), найдем, что вес пассажира «возрастал» более чем в 20 тыс. раз.

122. По формуле (29) находим  $F \approx 2 \cdot 10^{16} T$ .

123. 1) К Солнцу в два с лишним раза сильнее.

2) Земля и Луна притягиваются к Солнцу не порознь, а как одно тело. Точнее говоря, к Солнцу притягивается общий центр тяжести системы Земля—Луна, называемый барицентром. Он и обращается вокруг Солнца по эллиптической орбите. Земля и Луна обращаются вокруг барицентра, совершая полный оборот за месяц. По остроумному выражению замечательного популяризатора точных наук Я. И. Перельмана, Солнце «не вмешивается во внутренние отношения» Земли и Луны, «точнее—почти не вмешивается».

124. Диаметр Луны по сравнению с ее расстоянием до Солнца очень мал. Поэтому Солнце мало изменит лунный вес космонавтов. Земля же, находясь ближе к Луне, окажет существенное влияние. Поэтому космонавт, находящийся в точке, расположенной ближе к Земле, будет весить меньше.

125. Если масса каждого корабля  $m$ , половина расстояния между ними  $s$ , а условно принятое ускорение  $a$ , то на основании (22), (28) и (29) получим систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} s = \frac{at^2}{2} \\ a = \frac{F}{m} \\ F = \gamma \frac{m^2}{s^2}, \end{array} \right.$$

откуда  $t = s \sqrt{\frac{2s}{\gamma m}}$ , что составляет  $97 \cdot 10^7$  сек, или 30 лет.

126. Если  $M$  и  $R$  — масса и радиус планеты, то из системы уравнений (28) и (29) получается

$$g_0 = \gamma \frac{M}{R^2}. \quad (41)$$

По этой формуле для Луны находим  $g_0 \approx 1,6$  м/сек<sup>2</sup>.

127. 270 м/сек<sup>2</sup>.

128. На Меркурии — 3,8 м/сек<sup>2</sup>; на Венере — 8,5 м/сек<sup>2</sup>; на Марсе — 3,7 м/сек<sup>2</sup>; на Юпитере — 26 м/сек<sup>2</sup>; на Сатурне — 11 м/сек<sup>2</sup>; на Уране — 10 м/сек<sup>2</sup>; на Нептуне — 13 м/сек<sup>2</sup>; на Плутоне около 8 м/сек<sup>2</sup>.

129. На основании (41) из системы уравнений  $g_0 = \gamma \frac{M}{R^2}$ ,

$$g = \gamma \frac{M}{(R+H)^2} \text{ находим } g = g_0 \left( \frac{R}{R+H} \right)^2. \quad (42)$$

130. Из формулы (42) находим  $R+H = 380$  тыс. км.

131. По формулам (28) и (42) находим  $F = 790$  кГ.

132.  $H = R(\sqrt{3} - 1)$ , где  $R$  — радиус Земли.

133. 38 тыс. км (около 6 земных радиусов) от центра Луны.

134. Нет. Ракетам и космическим кораблям скорость придается в начале полета, а дальнейшее движение совершается по инерции. В этом смысле полет космического корабля схож с полетом брошенного камня или пули после выстрела.

135. Бесконечное множество.

136. Используя результаты решения задач № 126 и № 128, составляем уравнение  $\frac{P \cdot 3,7}{9,8} - \frac{P \cdot 1,6}{9,8} = 120$ , откуда  $P = 560$  кГ.

137. 1) 11 кГ.

2) На Земле  $v^2 = 2g_3H_3$ ; на Луне  $v^2 = 2g_4H_4$ , откуда  $H_4 = H_3 \cdot \frac{g_3}{g_4}$ .

Учитывая, что на Земле ускорение силы тяжести примерно в 6,1 раза больше, чем на Луне, получим:  $H_4 \approx 0,5 \cdot 6,1 \approx 3$  м.

138. Пусть  $g, P, m, R, \rho$  и  $V$  означают соответственно: ускорение на поверхности, вес, массу, радиус, плотность и объем небесного тела. Тогда на основании формул (16), (23) и (41) получим:

$$\frac{g_c}{g_3} = \frac{m_c R_3^2}{m_3 R_c^2} = \frac{\rho_c V_c R_3^2}{\rho_3 V_3 R_c^2} = \frac{\rho_c R_c^3 R_3^2}{\rho_3 R_3^3 R_c^2} = \frac{\rho_c}{\rho_3} \cdot \frac{R_c}{R_3} \approx \frac{1}{4} \cdot 109,$$

откуда

$$g_c \approx \frac{109}{4} \cdot g_3 \approx 0,27 \text{ км/сек}^2.$$

139. 36  $m/cm^3$ ; 35 000  $км/сек^2$ ; 4,5 Т; 130 млн. Т.

140. Из закона всемирного тяготения находим, что вес увеличился бы на 10 кг, т. е. составил бы  $\frac{7}{6}$  обычного. Из формул (21) и (22) следует, что высота прыжка  $H = \frac{v^2}{2g}$ , т. е. обратно пропорциональна ускорению тяготения, а значит, и весу. Следовательно, высота прыжка составит  $\frac{6}{7}$  обычного, т.е. приблизительно 73 см.

$$141. v = R \sqrt{\frac{g_0}{R+H}}. \quad (43)$$

По этой формуле находим, что для движения по круговой орбите «Восток-1» должен был иметь скорость 7,7  $км/сек$ . Фактически корабль двигался с переменной скоростью, т. к. его орбита была эллиптической.

142. Если в формуле (43)  $H$  убывает, то дробь, а значит, и скорость  $v$  возрастают.

143. Зная радиус Земли  $R$ , период обращения Луны вокруг Земли  $T$  и радиус лунной орбиты  $R+H$ , на основании формул (9), (20) и (43) составляем уравнение:

$$\frac{2\pi(R+H)}{T} = R \sqrt{\frac{g_0}{R+H}},$$

откуда

$$g_0 = \frac{4\pi^2(R+H)^3}{T^2 R^2} \approx 9,8 \text{ м/сек}^2.$$

144. Разделив длину орбиты  $2\pi(R+H)$  на круговую скорость (43), найдем, что период

$$T = \frac{2\pi}{R} \sqrt{\frac{(R+H)^3}{g_0}}. \quad (44)$$

По этой формуле находим, что для «Восток-3»  $T = 88,6$  мин.

145. Из формулы (44) следует  $R+H = 7$  тыс. км.

146. 1) Да, если радиус орбиты будет равен 400 тыс. км.

2) Не может. На расстояниях свыше 900 тыс. км земное тяготение практически не сказывается.

147. Нет, так как радиус орбиты такого спутника должен быть меньше радиуса Земли.

148. Из формул (40) и (41) следует еще одна формула для вычисления круговой скорости:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{M}{R}}. \quad (45)$$

Для Луны получаем  $v = 1,7$  км/сек; для Меркурия — 3,0 км/сек; для Венеры — 7,3 км/сек; для Марса — 3,6 км/сек; для Юпитера — 42 км/сек; для Сатурна — 25 км/сек; для Урана — 15 км/сек; для Нептуна — 16 км/сек; для Плутона около 8 км/сек.

149. 440 км/сек.

150.  $g_0 \approx 0,27$  км/сек<sup>2</sup>.

151. Из формулы (44) найдем  $H = 36$  тыс. км; 3 спутника.

152. Используя формулу (43), найдем  $g_0 \approx 12$  м/сек<sup>2</sup>.

153. Из системы уравнений  $vT = 2\pi R$  и  $v = \sqrt{\frac{M}{\gamma R}}$  находим

$$M = \frac{v^3 T}{2\pi\gamma} \quad (46)$$

$M = 12 \cdot 10^{27}$  г.

Из уравнения  $vT = 2\pi R$  находим  $R = \frac{vT}{2\pi}$ . Значит, объем планеты составляет:  $V = \frac{v^3 T^3}{6\pi^3}$ , а  $\rho = \frac{3\pi}{\gamma T^2} \approx 2,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

154. Из формулы (46) следует

$$T = \frac{2\pi M \gamma}{v^3} \approx 2,3 \text{ ч.}$$

155. 3 кГ; 5 кГ. Истинную плотность; давление в 2 раза меньше, чем истинное; истинное давление, истинную температуру тела.

156. По формуле (44) найдем, что период обращения спутника составляет 103 мин. Из чертежа (рис. 16) видно, что

$$\begin{aligned} \angle BOC &= \angle AOC - \angle AOB = \angle MO_1C - \angle AOB = \\ &= \arccos \frac{O_1M}{O_1O} - \arccos \frac{AO}{BO} \approx 60^\circ, 5; \end{aligned}$$

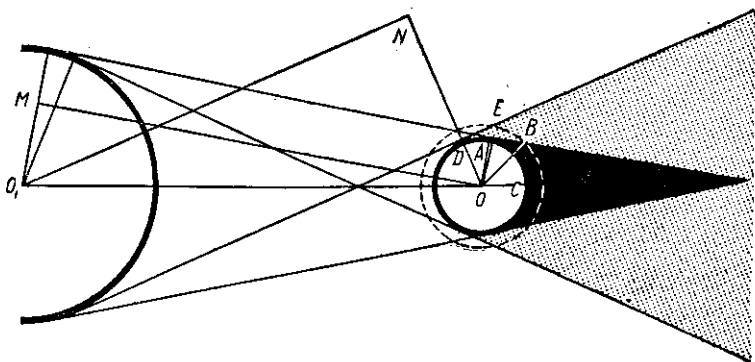


Рис. 16.

$$\angle O_1OE = \angle DOE + \angle O_1OD = \arccos \frac{DO}{EO} + \arccos \frac{ON}{O_1O} \approx 116^\circ, 5;$$

$$\angle BOE = 180^\circ - (116^\circ, 5 + 60^\circ, 5) = 3^\circ.$$

Разделив 103 в отношении 116,5 : 60,5 : 3, получим, что «день» длится 66,6 мин, «ночь» — 34,6 мин, а продолжительность сумерек составляет около 0,9 мин.

157. Из формулы (44) следует, что

$$H = \sqrt[3]{\frac{R^2 T^2 g_0}{4\pi^2}} - R \approx 2700 \text{ км.}$$

158. Из формулы (44) имеем  $\frac{T_{\text{л}}}{T_{\text{сп}}} = \sqrt{\left(\frac{R_{\text{орб. Луны}}}{R_{\text{орб. сп.}}}\right)^3} \approx 3\sqrt{3}.$

159. Из системы уравнений (30) и (43) получаем:

$$\omega = R \sqrt{\frac{g_0}{(R+H)^3}}. \quad (47)$$

160. 1) Обозначив искомое время в часах буквой  $t$  и учитывая формулу (47), приходим к уравнению:

$$t \cdot 6370 \sqrt{\frac{0,0098 \cdot 3600^3}{8470^3}} - t \cdot \frac{2\pi}{24} = 2\pi,$$

откуда  $t \approx 1,9$  ч.

2) Заменяв в уравнении знак минус на плюс и решив уравнение, получим  $t \approx 1,6$  ч.

161. 1) Обозначив искомое время в часах буквой  $t$  и учитывая формулу (47), приходим к уравнению

$$t \cdot 6370 \sqrt{\frac{0,0098 \cdot 3600^3}{7870^3}} - t \cdot 6370 \sqrt{\frac{0,0098 \cdot 3600^3}{7970^3}} = 2\pi,$$

откуда  $t \approx 100$  ч.

2) 58 мин.

162. На основании формулы (47) спутник будет двигаться с угловой скоростью  $\sqrt{\frac{g_0}{8R}}$  рад/ч; за 5 ч он сделает  $\frac{5}{2\pi} \sqrt{\frac{g_0}{2R}} \approx 1,26$

оборота. За это же время Земля повернется на  $\frac{5}{24} \approx 0,21$  оборота.

Если направление движения спутника и направление вращения Земли совпадают, то наблюдателю за 5 ч нужно продвинуться вперед на  $0,26 - 0,21 = 0,05$  длины экватора. Для этого он должен двигаться со скоростью  $\frac{2\pi \cdot 6370 \cdot 0,05}{5} \approx 400 \text{ км/ч.}$

Если направление движения спутника и направление вращения Земли не совпадают, то наблюдателю нужно продвинуться назад на 0,47 длины экватора, для чего необходимо двигаться со скоростью 3800 км/ч.

163. 1) Если бы спутник мог обращаться непосредственно у поверхности Земли, то период его появления над неподвижным наблюдателем составлял бы 1,5 ч. Увеличение высоты полета до 35 800 км влечет за собой бесконечное увеличение периода, а даль-





рости спутника относительно центра Земли, т. е. по формуле (47) составляет приблизительно 0,001 рад/сек, или 4' за 1 сек.

г) Когда спутник за секунду пройдет дугу  $MM_1$ , наблюдателю кажется, что спутник прошел путь  $NN_1$ . По формуле (43) длина дуги  $MM_1$  численно равна  $R \sqrt{\frac{g_0}{R+H}}$ . Можно считать, что дуга  $MM'$  радиусом  $AM$  (на рисунке не показана) практически совпадает с дугой  $MM_1$ . Погрешность, связанная с этим допущением при малых углах, мала. Значит,  $\angle MAM_1$ , а значит, и угловая скорость спутника в зените практически равны  $\frac{R}{2\pi H} \sqrt{\frac{g_0}{R+H}} \cdot 360^\circ \approx 2^\circ$  в секунду. Сравнивая результаты, полученные в пунктах в) и г), замечаем, что скорость спутника в зените в 30 раз превышает кажущуюся скорость его при восходе и закате.

166. Из формулы (31) следует, что  $\omega = \sqrt{\frac{g_0}{R}}$  рад/ед. времени.

167. Учитывая второй закон Ньютона, по формуле (31) находим:

$$R = \frac{4g_0}{\omega^2} = \frac{4g_0}{(0,5 \cdot 2\pi)^2} \approx 4 \text{ м.}$$

168. В 3 раза меньше, чем на Земле. Угловая скорость увеличится ходьбой на  $\frac{5 \cdot 1000}{3600 \cdot 40} = \frac{5}{144}$  рад/сек, т. е. станет равной  $\approx \frac{8}{25}$  рад/сек. По формуле (32) находим, что вес космонавта станет равным  $70 \cdot \left(\frac{8}{25}\right)^2 \cdot 40 \approx 290 \text{ н} \approx 29 \text{ кг}; 15 \text{ кг.}$

169. Используя формулы (16), (23), (29), (32), составляем систему уравнений:

$$\begin{cases} F = \gamma \frac{mM}{R^2} \\ F = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 R \\ M = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho, \end{cases}$$

$$\text{откуда } \rho T^2 = \frac{3\pi}{\gamma}. \quad (48)$$

При  $T = 24 \text{ ч}$   $\rho = 0,02 \text{ г/см}^3$ .

170. Пользуясь формулой (48), найдем  $T = 1,5 \text{ ч.}$

171. Пользуясь формулой (48), найдем, что скорость вращения Земли должна была бы увеличиться в 17 раз.

172. 1) На полюсе  $P_{\text{п}} = \gamma \frac{mM}{R^2}$ , а на экваторе  $P_{\text{э}} = \gamma \frac{mM}{R^2} - m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 R$ .

$$\frac{P_3}{P_n} = 1 - \frac{4\pi^2 R^3}{\gamma M T^2}.$$

2) На основании формул (29) и (32) имеем:

$$P_3 = \frac{\gamma M m}{R_3^2} - m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \cdot R_3; \quad P_n = \frac{\gamma M m}{R_n^2},$$

откуда

$$\begin{aligned} \frac{P_3}{P_n} &= \left( \frac{R_n}{R_3} \right)^2 - \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \frac{R_3 R_n^2}{\gamma M} = \\ &= \left( \frac{67}{71} \right)^2 - \frac{4\pi^2 \cdot 71 \cdot 10^6 \cdot 67^2 \cdot 10^{12} \cdot 15 \cdot 10^9}{590^2 \cdot 3600 \cdot 6 \cdot 10^{24} \cdot 317} \approx \frac{9}{11}. \end{aligned}$$

173. Используя формулы (28), (30), (32), составляем уравнение

$$\gamma \frac{mM}{R^3} = m \frac{v^2}{R},$$

откуда  $v = \sqrt{\gamma \frac{M}{R}} = \sqrt{g_0 R}$ , что совпадает с (40) и (45).

174. 1) Из закона сохранения количества движения (27)

$$v_c = \frac{m_p}{m_c} \cdot v_p = \frac{9}{5} \text{ м/сек.}$$

2) Из формулы (27) следует  $m \approx 4 \text{ т.}$

175. На основании формулы (25)  $W_k = 41 \text{ млн. кдж.}$

176. Более 400 тыс. двигателей.

177. Нет. Ускорение силы тяжести меняется с высотой. Для малых высот этим обычно пренебрегают, но уже начиная с нескольких десятков километров, как видно из формулы (42), ошибка такого вычисления будет значительной.

178. По закону сохранения энергии получим  $\frac{mv^2}{2} = \frac{m \cdot 11,2^2}{2} + \frac{m \cdot 12,3^2}{2}$ , откуда  $v = 16,7 \text{ км/сек.}$

179. Если работы, совершаемые на каждом участке, обозначить соответственно  $A_1, A_2, A_3, \dots$ , то на основании формул (26) и (29)

$$A_1 = F_1 (R_1 - R_0) = \gamma \frac{mM}{R_0 R_1} (R_1 - R_0) = \gamma mM \left( \frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_1} \right),$$

$$A_2 = \dots = \gamma mM \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right),$$

$$\dots$$

$$A_n = \dots = \gamma mM \left( \frac{1}{R_{n-1}} - \frac{1}{R_n} \right).$$

Очевидно, суммарная работа

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n = \gamma m M \left( \frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_n} \right). \quad (49)$$

180. 1) Из системы уравнений (25) и (43) находим:

$$H = \frac{mg_0 R^2}{2W_K} - R = 360 \text{ км.}$$

2) Из системы уравнений (25), (43) и (44) находим:

$$T = \pi R^2 g_0 \sqrt{\frac{m^3}{2W_K^3}} \approx 3,7 \text{ ч.}$$

181. 1) Используя формулы (41), (43) и (49), получим:

$$\gamma M m \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{R+H} \right) = \frac{\gamma m M}{2(R+H)},$$

откуда  $H = \frac{R}{2}.$

2) Пользуясь формулами (41), (43) и (49), подсчитаем энергию каждого спутника.

Для обращающегося ниже:

$$\begin{aligned} W &= \gamma M m \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{R+H} \right) + m \frac{\gamma M}{2(R+H)} = \\ &= \gamma m M \left[ \frac{1}{R} - \frac{3}{2(R+H)} \right]. \end{aligned}$$

Для обращающегося выше:

$$\begin{aligned} W &= \gamma M m \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{R+H+\Delta H} \right) + m \frac{\gamma M}{2(R+H+\Delta H)} = \\ &= \gamma m M \left[ \frac{1}{R} - \frac{3}{2(R+H+\Delta H)} \right]. \end{aligned}$$

Сравнив результаты, увидим, что полная энергия спутника тем больше, чем дальше он обращается от Земли.

182. а) Из формул (41), (23) и (16) следует, что

$$g_0 = \frac{2}{3} \pi D \gamma \rho = 4 \text{ мм/сек}^2.$$

б) В земных условиях начальная скорость прыжка на основании формул (21) и (22) составила бы  $v_0 = 3,6 \text{ м/сек.}$  На астероиде эта скорость не изменится, но по закону сохранения энергии и формулам (25) и (49) она должна удовлетворять равенству

$$\frac{mv_0^2}{2} = \gamma M m \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_n} \right),$$

откуда

$$v_0^2 = 2\gamma M \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_n} \right) \quad (50)$$

или, учитывая (41),  $v_0^2 = 2g_0 R_1^2 \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_n} \right)$ .

Решив это уравнение относительно  $R_n$ , получим

$$R_n = \frac{2g_0 R_1^2}{2g_0 R_1 - v_0^2} \approx 7,0 \text{ км},$$

а интересующая нас величина  $R_n - R_1 \approx 4,5 \text{ км}$ .

183. Получив из равенства (49) равенство (50) и полагая  $R_n = \infty$ , получим

$$v = \sqrt{2\gamma \frac{M}{R}}. \quad (51)$$

184. Из системы уравнений (41) и (51) находим:

$$v = \sqrt{2g_0 R}. \quad (52)$$

При старте с поверхности Земли  $v_3 \approx 11,2 \text{ км/сек}$ ; для Луны —  $v_4 = 2,4 \text{ км/сек}$ ; для Меркурия —  $4,3 \text{ км/сек}$ ; для Венеры —  $10 \text{ км/сек}$ ; для Марса —  $5,1 \text{ км/сек}$ ; для Юпитера —  $60 \text{ км/сек}$ ; для Сатурна —  $35 \text{ км/сек}$ ; для Урана —  $22 \text{ км/сек}$ ; для Нептуна —  $23 \text{ км/сек}$ ; для Плутона около  $11 \text{ км/сек}$ .

185. Из сравнения формул (40) и (52) видно, что вторая космическая скорость в  $\sqrt{2}$  раз больше первой космической скорости. Следовательно, искомая скорость составляет  $12 \cdot \sqrt{2} \approx 17 \text{ км/сек}$ .

186. Из тех же соображений, что и в предыдущей задаче,  $v \approx 13 \text{ км/сек}$ .

187. Заменяя в формуле (51)  $R$  на  $R + H$ , получим:

$$v = \sqrt{2\gamma \frac{M}{R + H}}. \quad (53)$$

Заменяя в формуле (52)  $R$  на  $R + H$ , а  $g_0$  в силу (42) на  $g_0 \left( \frac{R}{R + H} \right)^2$ , получим:

$$v = R \sqrt{\frac{2g_0}{R + H}}. \quad (54)$$

По любой из этих формул находим, что, заканчивая разгон искусственной планеты солнечной системы в  $430 \text{ км}$  от поверхности Земли, ракеты должны придать ей скорость не менее чем  $10,8 \text{ км/сек}$ .

188. На Земле прыжок на высоту  $0,5 \text{ м}$  на основании формул (21) и (22) требует начальной скорости  $v_1 = \sqrt{2g_0 H} \approx \sqrt{9,8} \text{ м/сек}$ .

Для отрыва от Гермеса на основании формулы (51) нужна скорость  $v_2 = \sqrt{0,37} \text{ м/сек.}$  Поскольку  $v_1 > v_2$ , скорость прыжка достаточна для того, чтобы навсегда улететь от Гермеса.

189. Из формулы (50) следует, что ракета обладает энергией, достаточной для того, чтобы приобрести скорость  $5 \text{ км/сек.}$  Сложенная со скоростью спутника, эта скорость превысит вторую космическую скорость для тел, стартующих с Земли. Значит, для выхода из сферы тяготения Земли при старте со спутника этой энергии тем более достаточно.

190. Из формул (43) и (54) следует, что на любой высоте разность второй и первой космических скоростей

$$R \sqrt{\frac{2g_0}{R+H}} - R \sqrt{\frac{g_0}{R+H}} = \frac{R \sqrt{g_0} (\sqrt{2}-1)}{\sqrt{R+H}} \approx \\ \approx \frac{264}{\sqrt{6370+H}} \text{ км/сек} < 5 \text{ км/сек.}$$

Значит, ответ на вопрос предыдущей задачи останется неизменным при любой скорости, допустимой для спутника Земли, обращающегося по круговой орбите.

191. Используя формулы (45) и (53), составляем уравнение

$$\sqrt{\gamma \frac{M}{R+H}} = \sqrt{2\gamma \frac{M}{x(R+H)}},$$

откуда  $x = 2$ , т. е. масса Земли должна уменьшиться вдвое.

192. 1) Используя формулы (45) и (53), получим

$$\sqrt{2\gamma \frac{M}{R+H}} - \sqrt{\gamma \frac{M}{R+H}} \approx 2 \text{ км/сек.}$$

2) Из уравнения  $\sqrt{2\gamma \frac{M}{R+H}} = v_{\text{тела}}$  находим  $R+H \approx 700 \text{ млн. км.}$

Из ответа к задаче 184 видно, что Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун могли бы сделать тело своим спутником, если бы оно приблизилось к ним на достаточно близкое расстояние.

193. По теореме косинусов (2) имеем

$$384\,000^2 \approx x^2 + (x + 0,4 \cdot 300\,000)^2 - 2x(x + 0,4 \cdot 300\,000) \cdot \cos 60^\circ,$$

откуда  $x = 300 \text{ тыс. км.}$

194. Пользуясь ответом к задаче № 96 и применяя теорему косинусов к одному из треугольников, изображенных на рисунке 18,

найдем  $v = \sqrt{7,9^2 + 0,3^2 - 2 \cdot 7,9 \cdot 0,3 \cos 65^\circ} \approx 7,84 \text{ км/сек.}$  По теореме синусов (3) имеем  $\frac{\sin \alpha}{\sin 65^\circ} = \frac{0,3}{7,84}$ , откуда  $\alpha \approx 2^\circ$ . Значит, ракеты придавали кораблям скорость  $7,84 \text{ км/сек}$  под углом  $67^\circ$  к экватору.

195. Ускорение силы тяжести на поверхности Марса равно  $3,7 \text{ м/сек}^2$  (см. задачу № 128). По формуле (33) найдем  $l \approx 9 \text{ см.}$

196. По формуле (41) находим, что ускорение свободного падения на поверхности Луны в 6,1 раза меньше, чем на поверхности Земли, а период колебания маятника (см. формулу 33) на Луне в  $\sqrt{6,1} \approx 2,5$  раза больше, чем на поверхности Земли, поэтому часы на Луне показали бы  $\frac{1}{2,5}$  ч  $\approx 24$  мин.

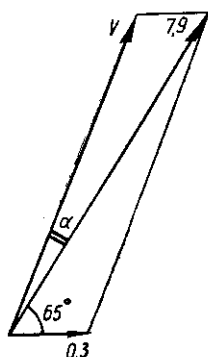


Рис. 18.

197. Уменьшение веса поезда происходит по закону геометрической прогрессии, первый член которой 8, знаменатель 3 и число членов 6. По формуле (18) находим  $S = 3$  тыс. Т.

198. По формуле (25) находим  $W_k = Q = 59$  млн. кдж = 14 млн. ккал. Из формулы (34) следует, что этой энергии было бы достаточно для нагревания на 100 град 140 т воды.

199. Потенциальная энергия контейнера на основании формулы (49) составляла  $47 \cdot 10^7$  дж. Кинетическая энергия его в силу формулы (25) равнялась  $203 \cdot 10^7$  дж. Сумма этих энергий эквивалентна 600 тыс. ккал теплоты. Если не принять мер по отводу тепла, то контейнер испарится, не достигнув поверхности Земли.

200. На тысячекилометровой высоте 5 кг льда (а его явно было больше) имели на основании формулы (49) потенциальную энергию

$$\frac{6 \cdot 10^{24} \cdot 5}{15 \cdot 10^9} \cdot \left( \frac{1}{637 \cdot 10^4} - \frac{1}{737 \cdot 10^4} \right) \approx 40 \text{ млн. дж.}$$

От этой энергии у поверхности Земли на основании формулы (25) осталось лишь  $\frac{5 \cdot 500^2}{2} \approx 7 \cdot 10^5$  дж. Значит, практически все 40 млн. дж, или 10 млн. ккал теплоты, ушло на нагревание льда и атмосферы. Учитывая, что удельная теплоемкость льда равна  $0,48 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ , а удель-

ная теплота плавления льда  $80 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$ , приходим к выводу, что выделившаяся энергия могла нагреть до  $0^\circ \text{C}$ , а затем и растопить  $\frac{10^4}{80 + 0,48 \cdot 100} \approx 80$  кг льда. Значит, его было не менее  $80 + 5 = 85$  кг.

2) Основная часть растаявшего льда осталась на той или иной высоте над поверхностью Земли, т. е. сохранила часть своей потенциальной энергии. Не зная, какая именно часть потенциальной энергии сохранена растаявшим льдом, нельзя продолжать рассуждения. Ученик ошибся, но его желание усилить требование задачи разумно, т. к. для падения 5 кг льда на Землю в космосе его должно было бы быть, конечно, гораздо больше 85 кг.

201. Сферическую.

202. Несмачивающая жидкость примет форму шара (если в сосуде достаточно пространства). Смачивающая жидкость растечется по всей поверхности сосуда, и форма, принятая жидкостью, будет зависеть от формы сосуда и степени его наполнения.

203. Сила тяги численно равна силе, действующей на газ, поэтому на основании формул (21) и (28)  $F = ma = m \cdot \frac{C - O}{t} = \frac{mC}{t}$ .

204. В двигателе внутренняя энергия топлива преобразуется в кинетическую энергию вытекающих газов. Если бы это преобразование протекало без потерь, то по закону сохранения энергии выполнялось бы равенство  $q = \frac{AC^2}{2g_0}$ , где  $A$  — тепловой эквивалент работы.

Из-за потерь это равенство приобретает вид  $kH = \frac{AC^2}{2g_0}$  или  $C = \sqrt{\frac{2g_0 kH}{A}}$ .

При переходе с пороха на жидкое топливо  $C_2 - C_1 = \sqrt{\frac{2g_0 k}{A}} (\sqrt{H_2} - \sqrt{H_1}) \approx 0,8 \text{ км/сек.}$

205.  $\frac{C_2}{C_1} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{\mu_1}{\mu_2}} \approx 1,26$ . Значит, скорость увеличится на 26%.

206. Из формулы Циолковского

$$v = 2,3 \cdot C \cdot \lg \left( 1 + \frac{m}{M} \right) \quad (55)$$

следует, что  $m = (10^{\frac{v}{2,3C}} - 1)M \approx 50 m$ . Ракеты с таким массивным содержимым построить невозможно (следует ведь учитывать и массу двигателей). Значит, одноступенчатая ракета на химическом топливе не может развить скорость, указанную в условии задачи.

207. Из формулы (55) следует, что  $M = m : (10^{\frac{v}{2,3C}} - 1) \approx 12 \text{ кг.}$  Такую ракету построить практически нельзя.

208. 1) Из формулы (55) находим  $v \approx 6 \text{ км/сек.}$

2) Из формулы (55) следует, что  $C \approx 3,7 \text{ км/сек.}$  Достичь такой скорости истечения газов из ракет, работающих на химических топливах, пока не удается. В лучших конструкциях ракет с лучшими сортами химического горючего скорость истечения газов пока не превышает 3 км/сек. Значит, для достижения космических скоростей нужны многоступенчатые ракеты.

209.  $v = -7 \cdot 10^{10} \lg(1 - 10^{-11}) \text{ см/сек.}$

Располагая двенадцатизначными таблицами логарифмов, можно подсчитать, что  $v \approx 10^{-8} \text{ см/сек.}$

210. Пусть масса ракеты с топливом растет в геометрической прогрессии со знаменателем  $q$ .

Тогда:



$$v_1 = 2,3 \cdot C \cdot \lg \frac{m+M}{M}$$

$$v_2 = 2,3 \cdot C \cdot \lg \frac{(m+M)q}{M} = 2,3 \cdot C \cdot \lg \frac{m+M}{M} + 2,3 \cdot C \cdot \lg q$$

$$v_3 = 2,3 \cdot C \cdot \lg \frac{(m+M)q^2}{M} = 2,3 \cdot C \cdot \lg \frac{m+M}{M} + 2 \cdot 2,3 \cdot C \cdot \lg q$$

$$\dots \dots \dots$$

$$v_n = 2,3 \cdot C \cdot \lg \frac{(m+M)q^{n-1}}{M} = 2,3 \cdot C \cdot \lg \frac{m+M}{M} + (n-1) \cdot 2,3 \cdot C \cdot \lg q.$$

Замечаем, что любое  $v_i$  больше  $v_{i-1}$  на величину  $2,3 \cdot C \cdot \lg q$ , что и требовалось доказать.

211. Из формулы (55) следует

$$\begin{aligned} v_1 &= 2,3 \cdot C \cdot \lg k_1 \\ v_2 &= v_1 + 2,3 \cdot C \cdot \lg k_2 \\ &\dots \dots \dots \\ v_n &= v_{n-1} + 2,3 \cdot C \cdot \lg k_n, \end{aligned}$$

значит,  $v_n = 2,3 \cdot C \cdot \lg k_1 + 2,3 \cdot C \cdot \lg k_2 + \dots + 2,3 \cdot C \cdot \lg k_n$ ,  
или окончательно

$$v_n = 2,3 \cdot C \cdot \lg (k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \dots \cdot k_n) \quad (56)$$

212.  $v = 2,3 \cdot 15 \cdot \lg 5^3 \approx 103,5 \cdot 0,699 \approx 72 \text{ км/сек.}$

213. 1) По формуле (56) имеем

$$\begin{aligned} v_3 &= 2,3 \cdot 2,5 \cdot \lg \left( \frac{2000 + 8000 + 400 + 1600 + 80 + 320}{2000 + 400 + 1600 + 80 + 320} \times \right. \\ &\quad \times \left. \frac{400 + 1600 + 80 + 320}{400 + 80 + 320} \cdot \frac{80 + 320}{80} \right) \approx 9,4 \text{ км/сек.} \end{aligned}$$

Если бы ракета была одноступенчатой, а не составной, то при тех же массах она приобрела бы скорость

$$v = 2,3 \cdot 2,5 \cdot \lg \left( \frac{2000 + 8000 + 400 + 1600 + 80 + 320}{2000 + 400 + 80} \right) \approx 4 \text{ км/сек.}$$

2) По формуле (56) имеем

$$\begin{aligned} v'_4 - v''_4 &= 2,3 \cdot (2,7 - 2,6) \cdot \lg \left( \frac{19340}{6940} \cdot \frac{3840}{1360} \cdot \frac{740}{240} \cdot \frac{120}{24} \right) \approx \\ &\approx 0,48 \text{ км/сек.} \end{aligned}$$

3) На основании (56) составляем уравнение

$$11 = 2,3 \cdot C \cdot \lg \left( \frac{18600}{6600} \cdot \frac{3600}{1200} \cdot \frac{600}{120} \right),$$

откуда  $C \approx 3$  км/сек.

214. На основании (56) составляем уравнение

$$6,9 = 2,3 \cdot 2,9 \cdot \lg \left( \frac{2,8 + 11 + 0,55 + x}{2,8 + 0,55 + x} \cdot \frac{0,55 + x}{0,55} \right),$$

откуда  $x \approx 1,2$  м.

215. Исходя из свойства касательной и секущей, проведенных из одной точки к одной окружности (рис. 19), имеем:  $x^2 = (2R + 409) \cdot 409$ . По свойству перпендикуляра, опущенного из вершины прямого угла на гипотенузу прямоугольного треугольника, получаем:

$$x^2 = (R + 409) \cdot (H + 409).$$

Решив эту систему уравнений относительно  $H$ , получим

$$H = \frac{409R}{R + 409}, \text{ а искомое отношение на основании формул}$$

(15) и (17) равно

$$\frac{H}{2R} = \frac{409R}{2R(R + 409)} \approx \frac{1}{33}.$$

216. Диаметр звезды  $38 \cdot 10^8$  км. Это значит, что Солнце и все планеты вплоть до Сатурна, находясь на своих орбитах, поместились бы внутри звезды.

217. В 58 млн. раз.

218.  $5 \cdot 10^{15}$  Т.

219.  $55^\circ$ .

220. 0,18 в.

221.  $-160^\circ\text{C}$  или  $+190^\circ\text{C}$ .

222. По формуле  $v = \lambda f$  находим, что для первого передатчика

$$\lambda = 7,5 \text{ м, для второго } f \approx 20 \text{ Мгц.}$$

223. 7 квт.

224. 900 вт.

225. Учитывая данные задачи № 223, имеем

$$N = \frac{\pi(6370 \cdot 10^3)^2 \cdot 2}{60} \text{ кал/сек} \approx 18 \cdot 10^{13} \text{ квт.}$$

По формулам (9) и (15) находим, что если вокруг Солнца описать сферу радиусом, равным радиусу земной орбиты, то на ней Земля займет немногим менее, чем одну двухмиллиардную часть поверхности.

Учитывая предыдущий ответ, находим, что общая мощность солнечного излучения равна  $4 \cdot 10^{23}$  квт.

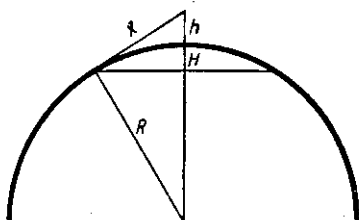


Рис. 19.

226. На Юпитер больше, но там холоднее. Тепловой режим зависит от величины излучения, приходящегося на единицу поверхности, а не на всю поверхность.

227. Из формулы (36) следует, что  $A_1B_1 = 2,8$  см.

228.  $2 \frac{1}{4}$  м.

229. В  $2,512^8$  раз; логарифмированием находим, что это число равно 100.

230. На 10 звездных величин.

231. 1 млн. звезд.

232. В 447 тыс. раз.

233. В 6 млн. раз.

234. На рисунке 20 изображена орбита третьего искусственного спутника Земли.  $F_1$  — центр Земли, а  $O$  — центр эллиптической орбиты. Большая полуось

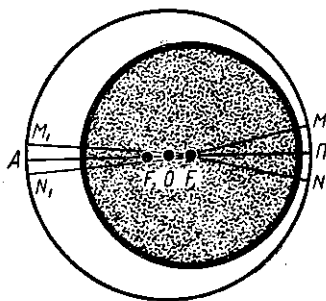


Рис. 20.

$$a = \frac{12740 + 226 + 1881}{2} \approx 7424 \approx$$

$\approx 7420$  км; полуфокусное расстояние  $c = 7424 - (6370 + 226) \approx 828 \approx 830$  км. Из формулы (19) следует, что малая полуось  $b = \sqrt{7424^2 - 828^2} \approx 7380$  км.

235. Если  $MN$  и  $M_1N_1$  (рис. 20) — пути, проходимые спутником за секунду соответственно в перигее и апогее орбиты, то, принимая их за дуги одной окружности, по второму закону Кеплера получим

$$MN \cdot F_1P = M_1N_1 \cdot F_1A, \text{ или } \frac{v_p}{v_A} = \frac{MN}{M_1N_1} = \frac{F_1A}{F_1P} = \frac{a+c}{a-c} = \frac{8252}{6596} \approx \frac{5}{4}.$$

По закону сохранения энергии разность кинетических энергий спутника в перигее и апогее орбиты равна работе по переносу спутника из перигея в апогей, т. е. на основании формул (25) и (49)

$$\frac{mv_p^2}{2} - \frac{mv_A^2}{2} = \gamma mM \left( \frac{1}{R_p} - \frac{1}{R_A} \right). \quad (57)$$

С другой стороны, по второму закону Кеплера  $v_p R_p = v_A R_A$ . Решая систему этих уравнений относительно  $v_p$  и  $v_A$ , получим

$$v_p = \sqrt{\frac{2\gamma M}{R_A + R_p} \cdot \frac{R_A}{R_p}} \quad (58)$$

$$v_A = \sqrt{\frac{2\gamma M}{R_A + R_{\Pi}} \cdot \frac{R_{\Pi}}{R_A}} \quad (59)$$

Вычисления по этим формулам приводят к значениям  $v_{\Pi} \approx 8,2$  км/сек и  $v_A \approx 6,6$  км/сек.

236.

Планета, с которой производится старт	Обозначения параметров	Величины параметров траектории в млн. км								
		на Меркурий	на Венеру	на Землю	на Марс	на Юпитер	на Сатурн	на Уран	на Нептун	на Плутон
Меркурий	<i>a</i>		83	104	143	418	740	1460	2280	2980
	<i>b</i>		79	82	115	212	290	410	510	590
	<i>c</i>		25	46	85	360	690	1410	2220	2930
Венера	<i>a</i>	83		129	168	443	770	1490	2300	3010
	<i>b</i>	79		127	157	290	390	560	700	800
	<i>c</i>	25		21	60	235	660	1380	2190	2900
Земля	<i>a</i>	104	129		189	464	790	1510	2320	3030
	<i>b</i>	82	127		185	340	460	660	820	940
	<i>c</i>	46	21		39	314	640	1360	2170	2880
Марс	<i>a</i>	143	168	189		503	830	1550	2360	3070
	<i>b</i>	115	157	185		421	570	810	1010	1160
	<i>c</i>	85	60	39		275	600	1320	2130	2840
Юпитер	<i>a</i>	418	443	464	503		1100	1820	2640	3350
	<i>b</i>	212	290	340	421		1050	1490	1870	2150
	<i>c</i>	360	335	314	275		320	1040	1860	2570
Сатурн	<i>a</i>	740	770	790	830	1100		2150	2970	3670
	<i>b</i>	290	390	460	570	1050		2020	2530	2900
	<i>c</i>	690	660	640	600	320		720	1540	2240
Уран	<i>a</i>	1460	1490	1510	1550	1820	2150		3680	4390
	<i>b</i>	410	560	660	810	1490	2020		3590	4120
	<i>c</i>	1410	1380	1360	1320	1040	720		810	1520
Нептун	<i>a</i>	2280	2300	2320	2360	2640	2970	3680		5220
	<i>b</i>	510	700	820	1010	1870	2530	3590		5160
	<i>c</i>	2220	2190	2170	2130	1860	1540	810		730
Плутон	<i>a</i>	2980	3010	3030	3070	3350	3670	4390	5220	
	<i>b</i>	590	800	940	1160	2150	2900	4120	5160	
	<i>c</i>	2930	2900	2880	2840	2570	2240	1520	730	

237. Нет. Чтобы двигаться по такой орбите, спутник в перигее должен приближаться к центру Земли на расстояние меньше, чем ее радиус.

238. По формуле (19) находим  $c \approx 13\,000$  км. Значит,  $R_{\Pi} \approx 7000$  км,  $R_A \approx 33\,000$  км, а по формуле (58)  $v_{\Pi} \approx 9,9$  км/сек.

239. Из формул (58) и (59) следует, что в перигее скорость увеличилась на 0,2 км/сек, а в апогее уменьшилась на 0,6 км/сек.

240. Из формулы (58) находим  $R_A \approx 6700$  км, откуда  $H = 6700 - 6370 \approx 330$  км, а затем по формуле (59)  $v_A \approx 7,7$  км/сек.

241. По формуле (58) находим  $v_n \approx 11,1$  км/сек.

242. Используя формулы (45) и (58), составляем уравнение

$$v_{\text{рак.}} + \sqrt{\gamma \frac{M}{R_n}} = \sqrt{\frac{2\gamma M}{R_A + R_n} \cdot \frac{R_A}{R_n}},$$

откуда  $R_A \approx 124$  тыс. км, следовательно,  $a \approx 66$  тыс. км,  $c \approx 59$  тыс. км и  $b \approx 30$  тыс. км.

243. Легче всего это сделать из апогея орбиты. Если расстояния выражать в километрах, то на основании формулы (58) искомая скорость

$$v = \sqrt{\frac{2\gamma M}{6800 + 6700} \cdot \frac{6700}{6800}} - \sqrt{\frac{2\gamma M}{6800 + 6370} \cdot \frac{6370}{6800}} \approx 0,1 \text{ км/сек.}$$

244. Из уравнения 
$$\frac{2\pi \cdot (25000 + 6370)}{24 \cdot 3600} =$$
  

$$= 6370 \sqrt{\frac{2 \cdot 0,0098 \cdot R_n}{(R_n + 25000 + 6370)(25000 + 6370)}} \text{ находим } R_n \approx 8100 \text{ км.}$$

Это больше радиуса Земли. Значит, человек не упадет на Землю, а станет спутником Земли.

245. а) 35 800 км; б) 46 тыс. км; в) 47 тыс. км.

246. По формуле (53) или (54) находим, что для отрыва от Земли в 400 км от ее поверхности нужна скорость  $v_1 \approx 10,9$  км/сек. Однако если ограничиться этой скоростью, то она будет полностью погашена тяготением Земли, в результате чего станция будет двигаться по орбите Земли. Чтобы перенести станцию с орбиты Земли на орбиту Марса (рис. 21), нужно совершить работу по преодолению силы тяготения Солнца. Для этого после выхода из поля тяготения Земли станция согласно формуле (58) должна иметь отно-

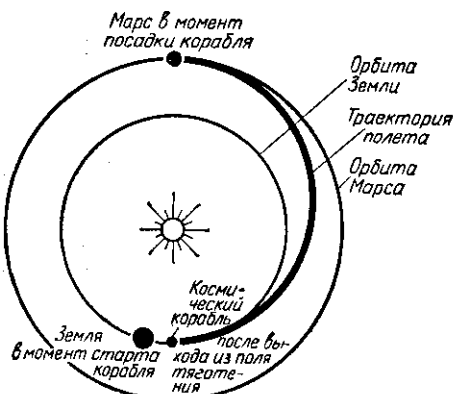


Рис. 21.

сительно Солнца скорость  $v_2 \approx 33$  км/сек. Основная часть этой скорости, а именно  $v_3 \approx 29,9$  км/сек, сообщена станции движением Земли. Значит, на долю ракет приходится  $v_4 \approx 3,1$  км/сек. По закону сохранения энергии скорости  $v_1$ ,  $v_4$  и окончательная скорость  $v_5$ , придаваемая станции в четырехстах километрах от поверхности Земли, должны удовлетворять соотношению

$$\frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_4^2}{2} = \frac{mv_5^2}{2},$$

откуда  $v_5 \approx 11,3$  км/сек. Это — необходимый минимум, однако практически «Марс-1» получила несколько большую скорость, что потребовало большего расхода горючего, но зато сократило время полета.

247. 1) Запуск на Венеру отличается от запуска на Марс главным образом тем, что космическому телу или кораблю нужно придать скорость не в сторону движения Земли, а в противоположном направлении. Космическое тело отправляется не из перигелия орбиты в афелий, как в предыдущей задаче, а наоборот. В остальном решение этой задачи аналогично решению предыдущей. Придерживаясь тех же обозначений, найдем:  $v_1 \approx 10,7$  км/сек,  $v_2 \approx 27,3$  км/сек (подсчитывается по формуле 59),  $v_4 = v_3 - v_2 \approx 2,6$  км/сек и наконец  $v_5 \approx 11$  км/сек.

2) 10,7 км/сек.

248. 1) На Меркурий — 13,5 км/сек; на Юпитер — 14,2 км/сек; на Сатурн — 15,2 км/сек; на Уран — 15,9 км/сек; на Нептун — 16,2 км/сек; на Плутон — 16,3 км/сек.

2) С Меркурия — 7,9 км/сек; с Юпитера — 60 км/сек; с Сатурна — 38 км/сек; с Урана — 22 км/сек; с Нептуна — 24 км/сек.

249. 7,5 км/сек.

250. 1) Применяя формулу (51) сначала к Земле, а затем к Солнцу, находим, что для выхода из поля тяготения Земли тело должно получить относительно нее скорость 11,2 км/сек, а для отрыва от Солнца после выхода из поля тяготения Земли скорость относительно Солнца — 42,2 км/сек. Основную часть последней скорости, а именно 29,9 км/сек, тело получает от Земли. Значит, на долю ракет приходится 12,3 км/сек. Для сохранения этой скорости по выходе из поля тяготения Земли тело должно по закону сохранения энергии у поверхности Земли получить скорость  $\sqrt{11,2^2 + 12,3^2} \approx 16,7$  км/сек.

2) С Меркурия — 20 км/сек; с Венеры — 18 км/сек; с Марса — 11 км/сек; с Юпитера — 59 км/сек; с Сатурна — 37 км/сек; с Урана — 21 км/сек; с Нептуна — 23 км/сек; с Плутона — 12 км/сек.

251. а) При  $v \leq 3,2$  км/сек;

б) »  $3,2 < v < 4,6$  км/сек;

в) »  $v = 4,6$  км/сек;

г) »  $4,6 < v < 6,5$  км/сек;

д) »  $6,5 \leq v < 13$  км/сек;

е) »  $v \geq 13$  км/сек.

252. 1) Из задачи № 184 мы уже знаем, что скорость отрыва от Луны  $v_1 = 2,4$  км/сек. Ракета, получившая такую скорость, после выхода из-под влияния Луны стала бы двигаться вокруг Земли с той же скоростью, что и Луна, т. е. 1 км/сек. А между тем, чтобы выйти из сферы притяжения Земли, ей понадобилась бы на ос-

новании (54) скорость  $6370 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,0098}{384000}} \approx 1,5 \text{ км/сек.}$  Разница между имевшейся и необходимой составила бы  $v_2 = 1,5 - 1 = 0,5 \text{ км/сек.}$

Получив в два приема скорость  $v_1 + v_2$ , ракета стала бы обращаться вокруг Солнца с такой же скоростью, что и Земля, т. е.  $29,9 \text{ км/сек.}$  А между тем для вылета из солнечной системы ей понадобилась бы на основании (54) скорость

$$695\,000 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,275}{15 \cdot 10^7}} \approx 42,2 \text{ км/сек.}$$

Значит, третьим разгоном ракета должна была бы получить добавочную скорость  $v_3 = 42,2 - 29,9 \approx 12,3 \text{ км/сек.}$

На основании закона сохранения энергии трехкратного разгона можно избежать, если сразу у поверхности Луны сообщить ракете скорость  $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2} \approx 12,5 \text{ км/сек.}$

2) Отправляясь с Земли на Луну, понадобилось бы и корабль, и запас топлива, необходимый для старта с Луны, разогнать до скорости  $11,1 \text{ км/сек}$  (см. задачу № 241). Чтобы затем с Луны стартовать к звездам, нужно заново разогнать корабль до  $12,5 \text{ км/сек}$  (см. предыдущий пункт задачи).

Очевидно (даже если не учитывать расход топлива на прилунение), энергетически выгоднее сразу у поверхности Земли разогнать только корабль до скорости  $16,7 \text{ км/сек}$  (см. задачу № 250).

Будущие звездолеты, очевидно, будут стартовать с искусственного спутника Земли. У искусственной промежуточной станции и скорость будет больше, чем у Луны, и сила тяжести практически будет отсутствовать.

253. 1) По формуле (51) находим, что для выхода из поля тяготения Земли нужна скорость  $11,2 \text{ км/сек.}$  По формуле (59) находим, что для перехода тела с орбиты Земли на поверхность Солнца при отсутствии земного тяготения нужна скорость относительно Солнца, равная  $2,9 \text{ км/сек.}$  Эта же скорость относительно Земли равна  $29,9 - 2,9 \approx 27 \text{ км/сек.}$  Значит, по закону сохранения энергии у поверхности Земли тело должно получить относительно Земли скорость  $\sqrt{11,2^2 + 27^2} \approx 29,2 \text{ км/сек.}$

2) Решая аналогично тому как это делалось в первом пункте задачи, найдем: с Меркурия —  $38 \text{ км/сек.}$ ; с Плутона —  $12 \text{ км/сек.}$

254. Зная, что Земля, находясь на расстоянии 1 а. е. от Солнца, совершает 1 оборот за год, по третьему закону Кеплера (37) получаем равенство:  $\left(\frac{250}{1}\right)^2 = \left(\frac{a}{1}\right)^3$ , откуда  $a \approx 40 \text{ а. е.} \approx 6 \text{ млрд. км.}$

255. По формуле (37) находим  $T \approx 22\frac{1}{2}$  месяца.

256. 15 месяцев.

257. К 2011 году.

258. Пусть неизвестное расстояние кометы от Солнца в перигелии составляло  $x$  млн. км. Тогда по третьему закону Кеплера  $\left(\frac{2}{1}\right)^2 = \left(\frac{x + 820}{2 \cdot 150}\right)^3$ , откуда  $x \approx -343$ , что невозможно.

259 Если высотам  $H_1$  и  $H_2$  над поверхностью Земли соответствуют периоды обращения спутников  $T_1$  и  $T_2$ , то в силу формулы (44)

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\left(\frac{R+H_1}{R+H_2}\right)^3}, \text{ где } R - \text{радиус Земли. Это и есть третий}$$

закон Кеплера для круговых орбит.

260. 1) От 600 до 230 км от поверхности Земли. Указание: при решении этой и следующей задач воспользоваться периодом обращения Луны и ее средним удалением от Земли.

2) На 180 км.

261. По формулам (58) и (59) имеем:

$$\begin{cases} 5000 = \sqrt{\frac{2 \cdot 6 \cdot 10^{24}}{15 \cdot 10^9 (R_A + R_n)}} \cdot \frac{R_A}{R_n} \\ 1250 = \sqrt{\frac{2 \cdot 6 \cdot 10^{24}}{15 \cdot 10^9 (R_A + R_n)}} \cdot \frac{R_n}{R_A} \\ \begin{cases} 1 = 4 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{2}{R_A + R_n}} \cdot \frac{R_A}{R_n} \\ 1 = 16 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{2}{R_A + R_n}} \cdot \frac{R_n}{R_A} \end{cases} \end{cases}$$

Перемножив равенства, получим  $1 = 64 \cdot 10^6 \cdot \frac{2}{R_A + R_n}$ , откуда

$$\frac{R_A + R_n}{2} = 64 \cdot 10^6 \text{ м} = 64 \text{ тыс. км.}$$

На основании третьего закона Кеплера это и есть искомый радиус орбиты второго спутника.

262. Большая полуось эллиптической траектории полета к Марсу составляет  $\frac{150 + 228}{2} = 189$  млн. км, следовательно, по третьему

закону Кеплера  $\left(\frac{T}{1}\right)^2 = \left(\frac{189}{150}\right)^3$ , откуда искомое время  $\frac{T}{2} \approx 0,7$  года.

Большая полуось траектории полета к Венере составляет 129 млн. км, откуда искомое время  $\frac{T}{2} \approx 0,4$  года.

263. На Меркурий перелет продлится на 0,1 года меньше, чем на Венеру. Это может показаться неправдоподобным, но из рисунка 22 видно, что так и должно быть. Маршрут Земля — Меркурий короче маршрута Земля — Венера.

264. Меркурий — Венера; Нептун — Плутон.

265. 5 сут.

266. 64 сут.

267. В момент взлета корабля Марс должен быть в строго определенном положении на своей орбите относительно Земли — он



должен опережать ее (рис. 23, сверху) на  $\frac{1}{2} - \frac{0,7}{1,88} \approx \frac{1}{8}$  полного оборота. Так как это положение повторяется с такой же регулярностью, как и противостояние, то следующий удобный момент для полета на Марс наступит через промежуток времени, вычисляемый из уравнения

$$\frac{t}{1} - \frac{t}{1,88} = 1,$$

откуда  $t \approx 2,1$  года.

На Меркурий с перерывом 3,8 месяцев; на Венеру с перерывом 7,5 месяцев; на Марс с перерывом 2,1 года; на Юпитер с перерывом 1,1 года; а на остальные планеты практически ежегодно.



Рис. 22.

268. За год Земля опережает Марс на  $1 - \frac{1}{1,88} \approx \frac{22}{47}$  оборота.

При вылете корабля с Земли она находится сзади него на  $\frac{1}{2} - \frac{0,7}{1,88} \approx \frac{11}{94}$  оборота. При взлете корабля с Марса она должна находиться «сзади» него (рис. 23) на  $0,7 - \frac{1}{2} = \frac{1}{5}$  оборота, или, точнее говоря, впереди на  $1 - \frac{1}{5} = \frac{4}{5}$  оборота. Для этого со времени

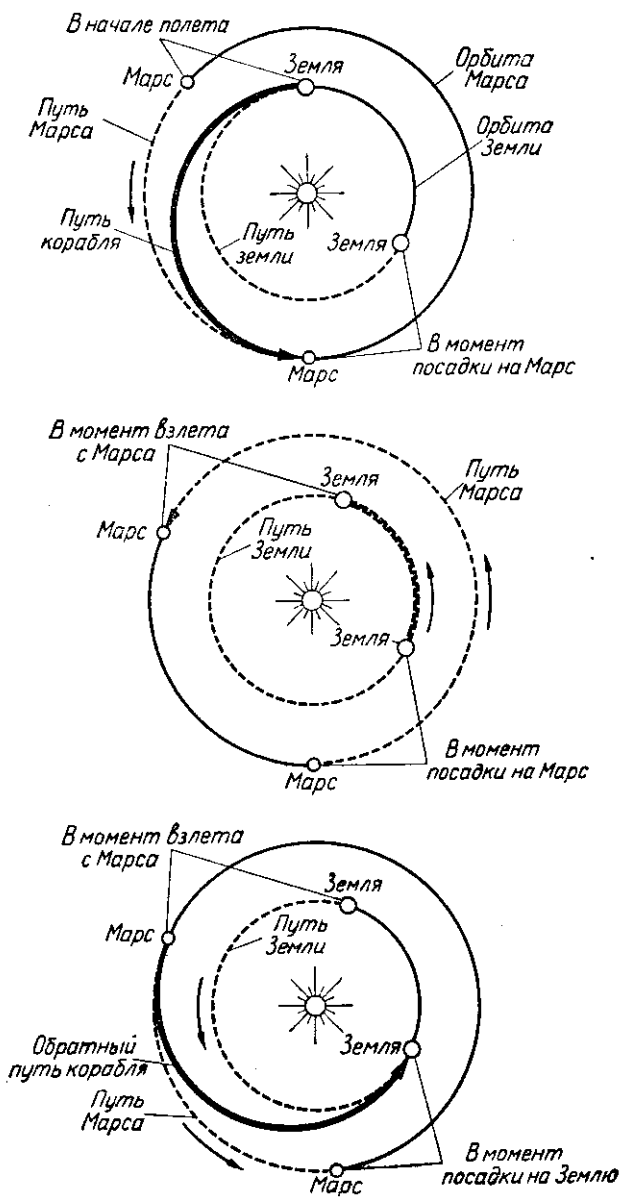


Рис. 23.

старта с Земли должно пройти время  $\left(\frac{11}{94} + \frac{4}{5}\right) : \frac{22}{47} = \frac{431}{220}$  года.

Значит, время ожидания на Марсе должно длиться  $\frac{431}{220} - \frac{7}{10} = \frac{277}{220} \approx 1,3$  года;

на Венере — 1,3 года.

$$269. t_1 = 50 \sqrt{1 - \left(\frac{100\,000}{300\,000}\right)^2} \approx 47 \text{ лет.}$$

$$270. t_0 - t_1 = 119 \cdot 3600 - 119 \cdot 3600 \sqrt{1 - \left(\frac{8}{300\,000}\right)^2} \approx 0,0001 \text{ сек.}$$

271. Из уравнения  $15 = 20 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{300\,000}\right)^2}$  находим  $v \approx 200\,000$  км/сек.

272. Из уравнения  $3 + x = r \sqrt{1 - \left(\frac{250\,000}{300\,000}\right)^2}$  находим  $x \approx 49$  лет.

273.  $t_a = \frac{300\,000}{0,001} \arcsin \frac{0,001 \cdot 5 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{300\,000} \approx 17 \cdot 10^7$  сек, или 5,4 года.

274. Из формулы, данной в условии предыдущей задачи, имеем

$$t_k = \frac{a}{a} \sin \frac{at_a}{c} = \frac{300\,000}{0,002} \cdot \sin \frac{0,002 \cdot 3 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{300\,000} \approx 88 \cdot 10^8 \text{ сек,}$$

или 2,8 года.

275. При равномерном движении  $t \approx 8,27$  года. При разгоне и торможении  $2t_k \approx 0,93$  года. Значит,  $t_1 + 2t_k \approx 9,2$  года (в то время как на Земле пройдет 10,6 года).

276. Из уравнения  $\frac{1}{2} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{300\,000^2}}$  найдем  $v \approx 260\,000$  км/сек.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Некоторые справочные и теоретические сведения . .	3
Задачи . . . . .	8
Глава первая . . . . .	8
Глава вторая . . . . .	16
Глава третья . . . . .	30
Ответы, указания и решения . . . . .	42

*Александр Васильевич Ротарь*

## ЗАДАЧИ ДЛЯ ЮНОГО КОСМОНАВТА

Редактор *А. Ф. Раева*

Обложка худ. *Р. Г. Алексеева*

Художественный редактор *А. И. Овчинников*

Технический редактор *И. Г. Крейс*

Корректор *А. И. Киселева*

\* \* \*

Сдано в набор 7/IX-1964 г. Подписано  
к печати 9/II-1965 г. 84×108<sup>1/32</sup>. Печ. л.  
2,375 (3,99). Уч.-изд. л. 3,89. Тираж 41000  
экз. (тем. план 1965 г. № 456). А 00056.

\* \* \*

Издательство «Просвещение» Государствен-  
ного комитета Совета Министров РСФСР  
по печати, Москва, 3-й проезд Марьиной  
рощи, 41.

Саратовский полиграфический комбинат Рос-  
главполиграфпрома Государственного коми-  
тета Совета Министров РСФСР по печати,  
г. Саратов, ул. Чернышевского, 59.

Заказ № 148. Цема 10 коп.

150

Цена 10 коп.