
Оглавление

Предисловие	7
Задачи к тому I	9
Введение	11
Глава 1. Атомы в движении.....	13
Глава 2. Закон сохранения энергии, статика.....	16
Глава 3. Законы Кеплера и гравитация.....	28
Глава 4. Кинематика.....	32
Глава 5. Законы Ньютона.....	38
Глава 6. Закон сохранения импульса.....	44
Глава 7. Векторы	48
Глава 8. Нерелятивистская теория столкновений двух тел в трех измерениях	52
Глава 9. Силы	61
Глава 10. Потенциалы и поля	68
Глава 11. Единицы измерений и размерности	75
Глава 12. Релятивистская кинематика и динамика, эквивалентность массы и энергии покоя	78
Глава 13. Релятивистские энергия и импульс.....	80
Глава 14. Вращение в двух измерениях, центр масс.....	83
Глава 15. Угловой момент (момент импульса), момент инерции	88
Глава 16. Вращение в трех измерениях	95
Глава 17. Гармонический осциллятор, линейные дифференциальные уравнения	107
Глава 18. Алгебра	117
Глава 19. Вынужденные колебания с затуханием.....	120
Глава 20. Геометрическая оптика	131
Глава 21. Электромагнитное излучение: интерференция	137
Глава 22. Электромагнитное излучение: дифракция.....	141
Глава 23. Электромагнитное излучение: преломление, дисперсия, поглощение	146
Глава 24. Электромагнитное излучение: радиационное затухание, рассеяние.....	147
Глава 25. Электромагнитное излучение: поляризация	149
Глава 26. Электромагнитное излучение: релятивистские эффекты.....	152
Глава 27. Квантовые явления: волны, частицы и фотоны.....	155
Глава 28. Кинетическая теория газов	159
Глава 29. Принципы статистической механики	163
Глава 30. Применение кинетической теории: равновесное распределение	167
Глава 31. Применение кинетической теории: явления переноса	169
Глава 32. Термодинамика	173
Глава 33. Примеры из термодинамики.....	178
Глава 34. Волновое уравнение, звук.....	182
Глава 35. Линейные волновые системы: биения, собственные колебания.....	185
Глава 36. Фурье-анализ волн.....	189
Задачи к тому II	191
Введение	193
Глава 37. Электромагнетизм	195
Глава 38. Дифференциальный расчет векторных полей	197
Глава 39. Интегральное исчисление векторов.....	200

Глава 40. Электростатика	202
Глава 41. Применение закона Гаусса.....	204
Глава 42. Электрическое поле в различных физических условиях.....	208
Глава 43. Электрическое поле в различных физических условиях (продолжение).....	213
Глава 44. Электростатическая энергия	214
Глава 45. Диэлектрики	216
Глава 46. Внутренняя структура диэлектриков.....	219
Глава 47. Электростатические аналогии.....	221
Глава 48. Магнитостатика	223
Глава 49. Магнитное поле в различных ситуациях.....	226
Глава 50. Векторный потенциал	229
Глава 51. Законы индукции	230
Глава 52. Решения уравнений Максвелла в пустом пространстве.....	235
Глава 53. Решения уравнений Максвелла с токами и зарядами	236
Глава 54. Цепи переменного тока	240
Глава 55. Объемные резонаторы.....	248
Глава 56. Волноводы	249
Глава 57. Электродинамика в релятивистском случае.....	253
Глава 58. Лоренцевы преобразования полей.....	255
Глава 59. Энергия и импульс поля.....	258
Глава 60. Электромагнитная масса.....	261
Глава 61. Движение зарядов в электрическом и магнитном полях	262
Глава 62. Показатель преломления плотных веществ	264
Глава 63. Отражение от поверхностей.....	265
Глава 64. Магнетизм вещества.....	266
Глава 65. Парамагнетизм и магнитный резонанс.....	267
Глава 66. Ферромагнетизм.....	268
Глава 67. Упругость.....	270
Глава 68. Течение «сухой» воды	272
Глава 69. Течение «мокрой» воды	273

Задачи к тому III 275

Введение	277
Глава 70. Амплитуды вероятности	279
Глава 71. Тождественные частицы	284
Глава 72. Единичный спин	289
Глава 73. Спин одна вторая	291
Глава 74. Зависимость амплитуд от времени	296
Глава 75. Гамильтонова матрица	297
Глава 76. Аммиачный мазер.....	300
Глава 77. Другие системы с двумя состояниями.....	301
Глава 78. Еще системы с двумя состояниями.....	302
Глава 79. Сверхтонкое расщепление уровней в водороде.....	304
Глава 80. Распространение волн в кристаллической решетке	305
Глава 81. Полупроводники.....	308
Глава 82. Приближение независимых частиц	310
Глава 83. Зависимость амплитуд от положения	312
Глава 84. Момент импульса.....	315
Глава 85. Атом водорода и периодическая таблица.....	318

Приложения321

Приложение А. Единицы измерений и их размерности	323
Приложение Б. Физические постоянные и величины (средние).....	325
Приложение В. Ответы к задачам	329

Предисловие

Настоящее издание представляет собой полный сборник задач к «Фейнмановским лекциям по физике». Этот сборник был подготовлен с использованием трех источников: «Задачника к начальной физике» Лейтона и Вогта (Эдисон-Уэсли, 1969) и двух томов «Задачника к Фейнмановским лекциям по физике», предназначенного для Калифорнийского технологического института, сокращенно «Калтех» (Эдисон-Уэсли, 1964–1965). Исходный задачник был значительно модернизирован: формулировки и решения задач были уточнены и исправлены с использованием современных единиц измерения, дополнены аккуратными выполненными рисунками и полностью перезагружены в программе «L^AT_EX». Задачи для томов II и III лекций были дополнены несколькими новыми проблемами и теперь приводятся с ответами/решениями, чего не было в предыдущих изданиях. В этом издании впервые в одной книге представлены задачи ко всем трем томам «Фейнмановских лекций по физике», причем впервые все задачи даны с тщательно подготовленным комплектом ответов.

Публикуемые здесь задачи давались студентам Калтеха в качестве обязательных домашних заданий и контрольных работ в программе двухлетнего вводного курса физики в период, когда Ричард Фейнман преподавал там физику (1961–1964), и позднее — в течение почти двух десятилетий, когда «Фейнмановские лекции по физике» использовались в качестве учебника. Многие люди внесли свой вклад в создание этого сборника задач, их фамилии вы сможете найти в списке благодарностей в разделе «Введение» к задачам для каждого тома. Кроме того, мы хотели бы выразить благодарность:

факультету физики, математики и астрономии Калифорнийского технологического института, который разрешил нам подготовить эту книгу и включить ее в издание «Фейнмановских лекций по физике нового тысячелетия»;

Рохусу Фогту за возможность использования его тетрадей, составленных за многие годы преподавания начального курса физики в Калтехе;

Юджину Коуэну за предоставление решений задач к томам II и III;

Аарону Циммерману за проверку правильности вновь добавленного материала из Калтеха;

Адаму Кокрану за внимательное обсуждение договора на издание этой книги с издательством «Бэйсик букс».

Майкл А. Готтлиб и Рудольф Пфайффер

Издатели «Фейнмановских лекций по физике нового тысячелетия»

Декабрь 2013

Задачи к тому I

- Современная наука о природе • Законы механики
- Пространство • Время • Движение
- Излучение • Волны • Кванты
- Кинетика • Теплота • Звук

Введение

Данные задачи предназначались авторами для использования вместе с томом I «Фейнмановских лекций по физике» в течение первого года изучения вводного курса физики в Калифорнийском технологическом институте, поэтому они расположены в том же порядке, что и темы, представленные в Фейнмановских лекциях. По каждой теме (и в соответствующей главе) задачи подразделяются на категории в зависимости от степени их обобщенности или трудности. Сначала даются доказательства или обобщения, затем простые задачи, задачи промежуточной сложности и наконец задачи повышенной сложности. Обычно доказательства и обобщения дополняют дискуссии, даваемые в Фейнмановских лекциях; их результаты студенты должны понимать и использовать в дальнейшем. Средние студенты не должны испытывать каких-либо трудностей при решении простых задач; они также должны в состоянии достаточно быстро справляться с решением большинства задач промежуточной сложности (на решение каждой такой задачи, возможно, потребуется 10–20 мин). Более сложные задачи обычно требуют и более глубокого физического понимания или более широкого осмысления. Их решение будет представлять интерес главным образом для наиболее сильных студентов.

Многие люди внесли свой вклад и критическую оценку в отдельные задачи. Значительное число задач было составлено Р. Б. Лейтоном в соответствии с оригинальным Фейнмановским курсом лекций по физике; некоторые из них взяты из обширного сборника Фостера Стронга с его разрешения; целый ряд задач был адаптирован Р. Е. Фогтом на базе экзаменационного материала, используемого во вводном курсе. Многим авторам задач, как известным, так и неизвестным, мы выражаем свою искреннюю благодарность.

Кроме того, мы считаем, что работа еще далека от завершения. Остается надеяться, что с течением времени авторы или другие преподаватели Калтеха

будут совершенствовать настоящий материал и добавлять новые задачи и объяснения, чтобы в конечном итоге создать всеобъемлющую книгу-самоучитель, полезность которой могла бы выйти далеко за те рамки, в которых она первоначально создавалась.

Роберт Б. Лейтон и Рохус Е. Фогт

Глава 1

Атомы в движении

См. «Фейнмановские лекции по физике»*, т. I, гл. 1–3

При анализе следующих задач читателю следует пользоваться теми идеями, которые описаны в этих главах, а также своим собственным опытом и воображением. В большинстве задач при их решении не ожидается получения точных количественных результатов.

- 1.1. Если тепло является мерой молекулярного движения, то в чем разница между теплым неподвижным бейсбольным мячиком и холодным, но быстро движущимся мячиком?
- 1.2. Если атомы всех объектов находятся в непрерывном движении, то как может сохраняться постоянная форма любых объектов, например, таких как отпечатки на окаменелостях?
- 1.3. Объясните качественно, почему и как трение в движущейся машине вырабатывает тепло. Объясните также, если сможете, почему тепло не может производить движение в обратном процессе.
- 1.4. Химики обнаружили, что молекулы каучука состоят из длинных перекрещивающихся цепочек атомов. Объясните, почему при растяжении резиновая лента нагревается.
- 1.5. Что будет с резиновой лентой, удерживающей данный вес, если ее нагреть? (Чтобы ответить на вопрос, попытайтесь сделать это.)
- 1.6. Можете ли вы объяснить, почему нет кристаллов, имеющих форму правильного пятиугольника? (Треугольники, квадраты и шестиугольники являются распространенными формами в мире кристаллов.)
- 1.7. Вам дано большое количество стальных шариков одинакового диаметра d и контейнер известного объема V . Каждый габарит этого контейнера намного превосходит диаметр шарика. Какое наибольшее количество шариков N может поместиться в контейнере?

* «Фейнмановские лекции по физике» (далее — «Лекции»), на которые даются ссылки в данном задачнике, — трехтомное издание «The Feynman Lectures on Physics», которое в русском переводе было выпущено издательством «Мир» в девяти томах в 1965–1967 гг. Нумерация глав в русском переводе (и в переизданиях) сохранена. — *Прим. ред.*

- 1.8. Как должно изменяться давление газа P в зависимости от числа атомов n в единице объема и от средней скорости атомов $\langle v \rangle$? (Должно давление P быть пропорциональным n и/или $\langle v \rangle$ либо эта зависимость от n и $\langle v \rangle$ отличается от линейной?)
- 1.9. В обычных условиях воздух имеет плотность около $0,001 \text{ г/см}^3$, в то время как жидкий воздух имеет плотность около $1,0 \text{ г/см}^3$.
- (а) Оцените количество молекул в 1 см^3 обычного воздуха n_G и жидкого воздуха n_L .
- (б) Оцените массу молекулы воздуха m .
- (в) Оцените среднее расстояние l , которое молекула воздуха должна пройти между столкновениями при нормальных температуре и давлении (НТД: 20°C при 1 атм). Это расстояние называется *длиной свободного пробега*.
- (г) До какого остаточного давления P необходимо откачать вакуумную систему для того, чтобы длина свободного пробега молекул в ней составляла 1 м .
- 1.10. Интенсивность коллимированного параллельного пучка атомов калия снижается на $3,0 \%$ в слое аргона толщиной $1,0 \text{ мм}$ при давлении $6,0 \cdot 10^{-4} \text{ мм рт. ст.}$ Рассчитайте эффективную площадь мишени A на один атом аргона.
- 1.11. Исследования дифракции рентгеновских лучей показывают, что кристаллы NaCl имеют кубическую решетку с расстоянием $2,820 \text{ \AA}$ между ближайшими соседями. Найдите по таблицам плотность, а также молярную массу NaCl и рассчитайте число Авогадро N_A . (Это один из наиболее точных экспериментальных методов определения числа Авогадро N_A .)
- 1.12. Болтвут и Резерфорд обнаружили, что радий в равновесии с продуктами его распада производит $13,6 \cdot 10^{10}$ атомов гелия в секунду на грамм радия. Они также установили, что распад 192 мг радия производит $0,0824 \text{ мм}^3$ гелия в день при стандартных температуре и давлении (СТД: 0°C при 1 атм). Используйте эти данные для расчета:
- (а) числа атомов гелия N_{He} в 1 см^3 газа при СТД;
- (б) числа Авогадро N_A .
- Ссылка: Boltwood and Rutherford, *Phil. Mag.* **22**, 586 (1911).
- 1.13. Рэлей обнаружил, что $0,81 \text{ мг}$ оливкового масла на поверхности воды образует мономолекулярный слой 84 см в диаметре. Какое в результате получается значение числа Авогадро N_A в предположении, что химическая формула оливкового масла имеет приблизительный вид $\text{H}(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$ и форму в виде линейной цепочки при плотности $0,8 \text{ г/см}^3$?

Ссылка: Rayleigh, *Proc. Roy. Soc.* **47**, 364 (1890).

- 1.14.** Примерно в 1860 г. Максвелл показал, что вязкость газа задается формулой

$$\eta = \frac{1}{3} \rho v \ell,$$

где ρ — плотность газа, v — средняя скорость и ℓ — средняя длина свободного пробега молекул газа. Как ранее было показано Максвеллом, средняя длина свободного пробега молекул газа определяется формулой $\ell = 1 / (\sqrt{2} \pi N_g \sigma^2)$, где σ — эффективный диаметр молекулы.

Лошмидт (1865) использовал измеренное значение η , ρ (газа) и ρ (твердого тела) и вместе с Джоулем рассчитал v для определения N_g — количества молекул в 1 см^3 газа при СДТ. Он предположил, что молекулы являются твердыми сферами, плотно упакованными в твердом теле. При условии, что $\eta = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ г см}^{-1} \text{ с}^{-1}$ для воздуха при СДТ, ρ (жидкости) $\approx 1,0 \text{ г/см}^3$, ρ (газа) $\approx 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$ и $v \approx 500 \text{ м/с}$, рассчитайте N_g .

- 1.15.** Полный воды стакан оставили стоять на подоконнике раскрытого окна где-то в Калифорнии.

- (а) Как вы думаете, сколько времени T потребуется для того, чтобы вода полностью испарилась из этого стакана?
- (б) Сколько молекул J с одного квадратного сантиметра поверхности воды в стакане могло покинуть этот стакан воды за секунду при такой скорости испарения?
- (в) Кратко объясните связь, если таковая имеется, между вашим ответом на вопрос (а) данной задачи и средней нормой выпадения осадков по всей Земле.

- 1.16.** В палеозойскую эру капля послеобеденного ливня упала на землю и оставила на ней отпечаток, который позже был в ходе раскопок добыт страдающим от жары и жажды студентом-геологом. Осушая свою флягу, этот студент от нечего делать прикидывает, сколько молекул воды N из этой древней дождевой капли он только что выпил. Оцените N , используя только известные вам данные. (Сделайте разумные предположения относительно необходимости информации, которой вы не обладаете.)

Глава 2

Закон сохранения энергии, статика

См. «Лекции», т. I, гл. 4

- 2.1.** Используйте принцип виртуальной работы для вывода формулы неравноплечных весов (рис. 2-1) $W_1 l_1 = W_2 l_2$ (весом балки пренебречь).

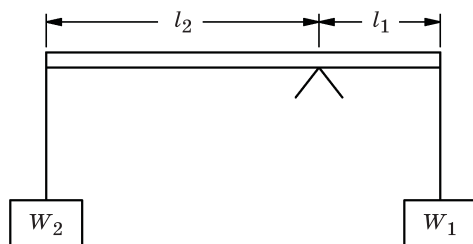


Рис. 2-1

- 2.2.** Обобщите формулу, полученную в задаче 2.1, на случай нескольких грузов, подвешенных на различных расстояниях от оси качания балки весов, т. е. докажите, что $\sum W_i l_i = 0$.

(Расстояния с одной стороны от точки опоры весов считаются положительными, а с другой – отрицательными.)

- 2.3.** На тело действуют n сил, при этом оно находится в статическом равновесии. Используйте принцип виртуальной работы, чтобы доказать следующее:

- (а) если $n = 1$, то величина силы должен быть равна нулю (тривиальный случай);
- (б) если $n = 2$, то две силы должны быть равны по величине и противоположны по направлению (коллинеарны);
- (в) если $n = 3$, то силы должны быть компланарны и направления их действия должны пройти через одну точку;
- (г) для произвольного числа n сумма произведений величины силы F_i на косинус угла Δ_i между самой силой и любой неподвижной прямой

равна нулю: $\sum_{i=1}^n F_i \cos \Delta_i = 0$.

- 2.4.** Решение задач, связанных со статическим равновесием, в отсутствие трения может быть сведено к простым геометрическим задачам путем использования *принципа виртуальной работы*.

Куда сдвигается одна точка, когда другая перемещается на небольшое расстояние? Во многих случаях на этот вопрос легко ответить, если использовать следующие свойства треугольника (рис. 2-2):

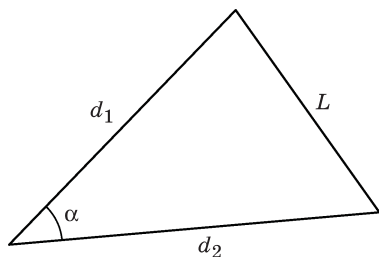


Рис. 2-2

(а) Если при постоянной длине сторон d_1 и d_2 угол α изменяется на небольшую величину $\Delta\alpha$, то длина противоположной стороны L изменится на величину $\Delta L = \frac{d_1 d_2}{L} \sin \alpha \Delta\alpha$.

(б) Если длины сторон a , b и c прямоугольного треугольника изменяются на небольшие величины Δa , Δb и Δc , то между этими изменениями имеется следующая связь: $a\Delta a + b\Delta b = c\Delta c$ (где c — гипотенуза). Докажите эту формулу.

- 2.5.** Однородная доска длиной 1,5 м и весом 3 кг шарнирно поворачивается вокруг одного конца. Доска удерживается в равновесии в горизонтальном положении с помощью конструкции из груза и шкива, как показано на рис. 2-3. Найдите вес груза W , необходимый для того, чтобы доска находилась в равновесии. Трением можно пренебречь.

- 2.6.** Шар радиусом 3 см и весом 1 кг покоится на плоскости, наклоненной под углом α к горизонтали, а также касается вертикальной стенки, как показано на рис. 2-4. Обе поверхности обладают пренебрежимо малым трением. Найдите силу, с которой шар давит на стенку F_W и на плоскость F_P .

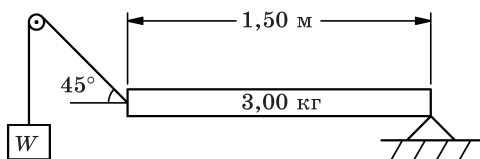


Рис. 2-3

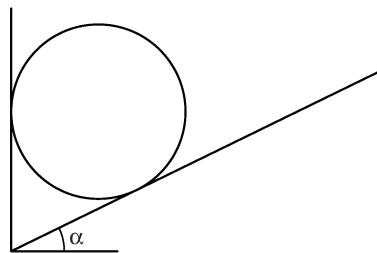


Рис. 2-4

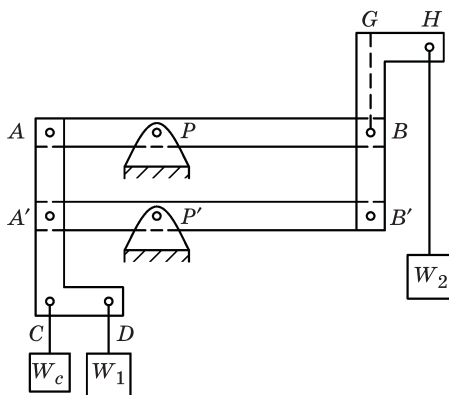


Рис. 2-5

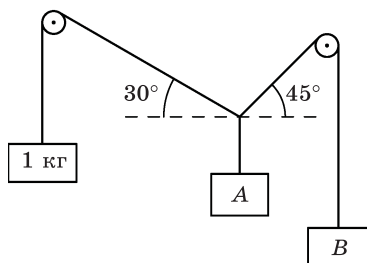


Рис. 2-6

2.7. Подвижная рама в виде параллелограмма $AA'BB'$ укреплена в вертикальной плоскости на шарнирах P и P' , как показано на рис. 2-5. Трением в точках крепления A, A', B, B', P и P' можно пренебречь. Элементы $AA'CD$ и $B'BGH$ являются жестко скрепленными и одинаковыми по размеру. При этом $AP = A'P' = 0,5PB = 0,5P'B'$. Благодаря противовесу W_c рама в отсутствие грузов W_1 и W_2 находится в равновесии. Если груз W_1 весом $0,5$ кг подвесить в точке D , то какой груз W_2 , потребуется подвесить в точке H , чтобы рама осталась в равновесии?

2.8. Система, показанная на рис. 2-6, находится в статическом равновесии. Воспользуйтесь принципом виртуальной работы, чтобы найти грузы A и B . Весом струн и трением в шкивах можно пренебречь.

2.9. Груз $W = 5$ кг подвешен к середине проволоки ACB , как показано на рис. 2-7. $AC = CB = 0,5$ м, $AB = 0,5\sqrt{2}$ м. Найдите силы натяжения отрезков проволоки T_1 и T_2 .

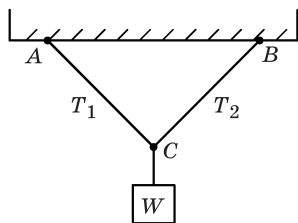


Рис. 2-7

2.10. Ферма, показанная на рис. 2-8, изготовлена из легких алюминиевых стержней, концы которых шарнирно соединены друг с другом. На конце C имеется ролик, который может катиться по гладкой плите. Когда рабочий нагревает элемент AB с помощью сварочной горелки, наблюдается увеличение его длины на величину x . В результате груз W смещается вертикально на величину y .

(а) В каком направлении перемещается груз W — вверх или вниз?

(б) Чему равно усилие F в элементе AB (нужно определить и знак усилия, т. е. стержень растягивается или сжимается)?

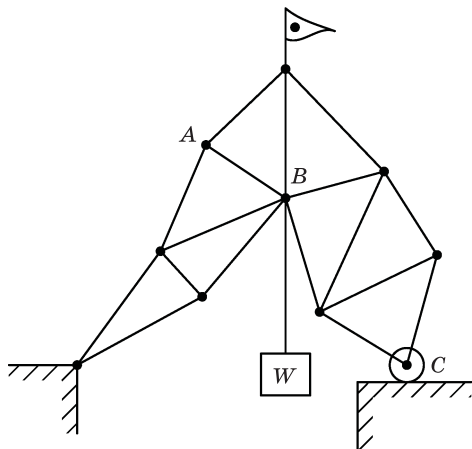


Рис. 2-8

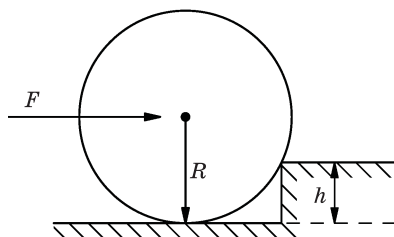


Рис. 2-9

2.11. С какой горизонтальной силой F (приложенной к оси) требуется толкнуть колесо весом W и радиусом R , чтобы оно заехало на препятствие высотой h (рис. 2-9)?

2.12. Горизонтальный поворотный стол диаметром D монтируется на подшипниках с пренебрежимо малым трением. Две горизонтальные силы в плоскости поворотного стола, равные по величине F и параллельные друг другу, но приложенные в противоположных направлениях, действуют на обод поворотного стола на противоположных концах диаметра, как показано на рис. 2.10.

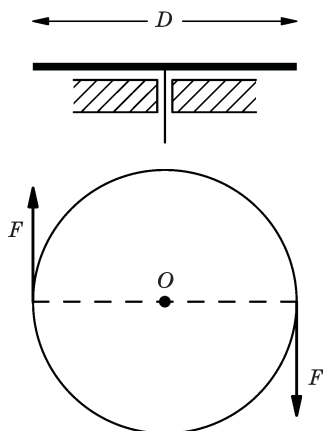


Рис. 2-10

- (а) Какая сила F_B действует на подшипник?
- (б) Чему равен крутящий момент (момент этой пары сил) τ_O относительно вертикальной оси, проходящей через центр O ?
- (в) Чему был бы равен момент τ_P относительно вертикальной оси, проходящей через произвольную точку P на той же самой плоскости?
- (г) Является следующее утверждение правильным или ложным? «Любые две силы, действующие на тело, могут быть объединены в единую результирующую силу, которая имела бы аналогичный эффект.» Объясните. При подготовке вашего ответа рассмотрите случай, когда две силы противоположны по направлению, но не равны по величине.

- 2.13. Плоская стальная пластина, плавающая в ртути, находится под воздействием трех сил, приложенных к трем углам квадрата со стороной 0,1 м, как показано на рис. 2-11. Найдите *одну* четвертую силу F , которая будет удерживать пластину в равновесии. Дайте величину, направление и точку приложения силы F вдоль линии AB .

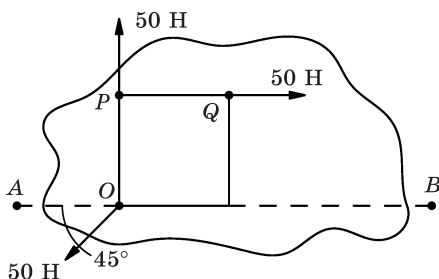


Рис. 2-11

- 2.14. В отсутствие трения с какой скоростью v будут двигаться грузы W_1 и W_2 (рис. 2-12) после того, как они пройдут расстояние D , начав свое движение из состояния покоя ($W_1 > W_2$)?
- 2.15. На рис. 2-13 грузы равны, и можно пренебречь трением. Если система придет в движение из состояния покоя, с какой скоростью v будут двигаться грузы, когда они пройдут расстояние D ?

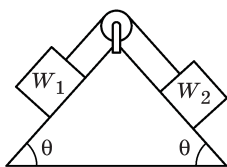


Рис. 2-12

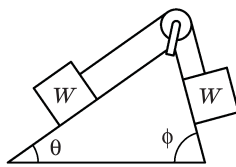


Рис. 2-13

- 2.16. Груз M_1 скользит по наклонной плоскости высотой H с углом наклона 45° , как показано на рис. 2-14. Груз M_1 связан гибким шнуром ничтожно малой массы, перекинутым через небольшой блок (также пренебрежимо малой массы), с грузом равной массы $M_2 = M_1$, висющим вертикально. Длина шнура такова, что грузы могут удерживаться в неподвижном положении на высоте $H/2$. Размеры грузов и блока являются незначительными по сравнению с высотой H . В момент времени $t = 0$ два груза отпустили.
- Для $t > 0$ вычислить вертикальное ускорение груза M_2 .
 - Какой из грузов будет двигаться вниз?
 - В какой момент времени t_1 груз,двигающийся вниз, как вы определили в пункте (б), ударится о землю?
 - Если груз, определенный в пункте (б), при падении на землю остановится, а другой груз продолжит свое движение, ударится ли он о блок?

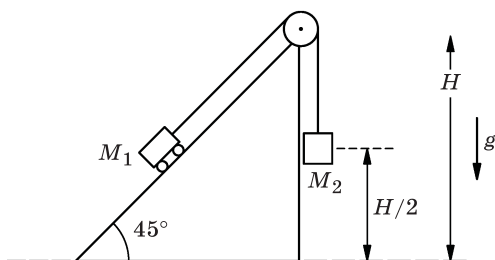


Рис. 2-14

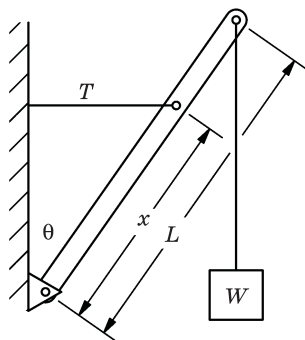


Рис. 2-15

- 2.17.** Вышка, выполненная в виде однородной стрелы длиной L и весом w , шарнирно установлена на своем нижнем конце, как показано на рис. 2-15. Она поддерживается под углом θ к вертикали горизонтальным кабелем, подведенным к некоторой точке на расстоянии x от шарнирного крепления, к верхнему концу которого прикреплен груз W . Найти силу натяжения T в горизонтальном кабеле.
- 2.18.** Однородная лестница-стремянка длиной 3 м с роликами в верхней части опирается на гладкую вертикальную стенку, как показано на рис. 2-16. Вес лестницы равен 14 кг. Груз весом $W = 28$ кг подвешивают к верхней ступеньке стремянки на расстоянии 0,75 м от верхнего конца. Найти:
- силу F_R , с которой ролики прижимаются к стене;
 - горизонтальную F_h и вертикальную F_v составляющие силы, с которой стремянка взаимодействует с поверхностью земли.
- 2.19.** Доска весом W и длиной $\sqrt{3}R$ лежит в гладкой круглой впадине радиусом R , как показано на рис. 2-17. На одном конце доски находится груз $W/2$. Рассчитать угол θ , под которым лежит доска, когда она находится в равновесии.

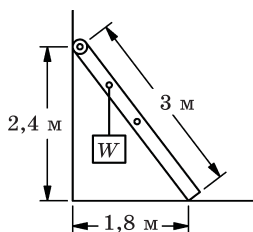


Рис. 2-16

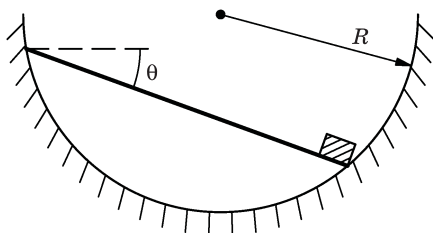


Рис. 2-17

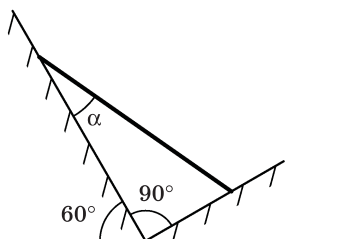


Рис. 2-18

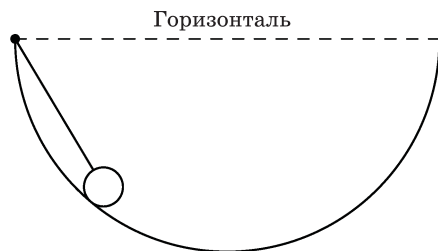
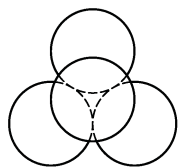
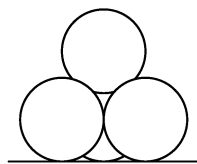


Рис. 2-19

- 2.20.** Однородный стержень длиной l и весом W опирается своими концами на две наклонные плоскости, как показано на рис. 2-18. Из принципа виртуальной работы найти угол α , при котором стержень будет находиться в равновесии. (Силой трения пренебречь.)
- 2.21.** Небольшой твердый шар радиусом 4,5 см и весом W должен быть подвешен на струне, спускающейся из концов гладкой полусферической чаши радиусом 49 см, как показано на рис. 2-19. Было обнаружено, что если струна имеет длину, меньшую 40 см, то она рвется. Используя принцип виртуальной работы, найдите предел прочности струны на разрыв F .
- 2.22.** Орнамент для изгороди на Всемирной выставке должен быть составлен из четырех одинаковых металлических шаров, не обладающих трением, каждый из которых весит $2\sqrt{6}$ Т-с (тонна-силы). Шары располагаются в порядке, показанном на рис. 2-20, где три шара покоятся на горизонтальной поверхности и касаются друг друга, а четвертый шар свободно лежит на трех других. Чтобы три нижних шара не раскатывались в стороны, они привариваются в точках контакта друг с другом. С учетом трехкратного запаса прочности какое максимальное механическое напряжение должна выдерживать точка сварки?
- 2.23.** Жесткая проволочная рамка, закрепленная в вертикальной плоскости, имеет форму правильного треугольника, как показано на рис. 2-21. Две бусины массами $m_1 = 100$ г, $m_2 = 300$ г скользят без трения по проволокам и связаны между собой нитью. Когда система находится в статическом равновесии, каково натяжение T нити и под каким углом α она находится по отношению к первой проволоке?



Вид сверху



Вид спереди

Рис. 2-20

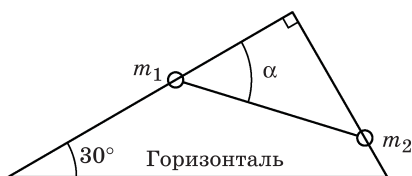


Рис. 2-21

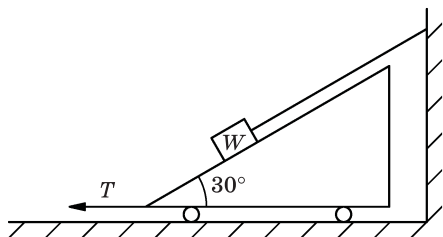


Рис. 2-22

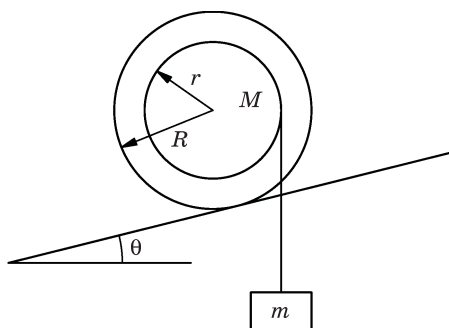


Рис. 2-23

- 2.24.** Найти силу тяги T , необходимую, чтобы привести в движение находящуюся в покое тележку (рис. 2-22), если сила трения отсутствует.
- (а) Используйте принцип виртуальной работы.
- (б) Используйте разложение силы на составные компоненты.
- 2.25.** Катушка массой $M = 3$ кг состоит из центрального барабана радиусом $r = 5$ см и двух крайних дисков радиусом $R = 6$ см. Катушка расположена в выемке на наклонной плоскости, по которой она будет катиться без проскальзывания; при этом на нити, намотанной вокруг центрального барабана катушки, к ней подвешен груз массой $m = 4,5$ кг, как показано на рис. 2-23. Следует отметить, что система находится в статическом равновесии. Чему равен угол θ наклона плоскости?
- 2.26.** Петля из гибкой цепочки общим весом W лежит на гладком правильном конусе вращения с радиусом основания r и высотой h , как показано на рис. 2-24. Цепочка покоится на горизонтальном круге на конусе, ось которого расположена вертикально. Найти натяжение цепочки T . Силой трения можно пренебречь.
- 2.27.** Тележка на наклонной плоскости уравнивается грузом w , как показано на рис. 2-25. Трение в деталях тележки пренебрежимо мало. Найдите вес тележки W .

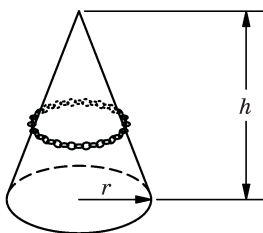


Рис. 2-24

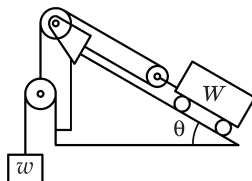


Рис. 2-25

- 2.28. Фермы моста имеют конструкцию, показанную на рис. 2-26. Все соединения могут рассматриваться как шарниры, трение в которых отсутствует; все элементы фермы моста являются жесткими, невесомыми и равными по длине. Найдите силы реакции опоры F_1 и F_2 и силу F_{DF} в элементе конструкции DF .

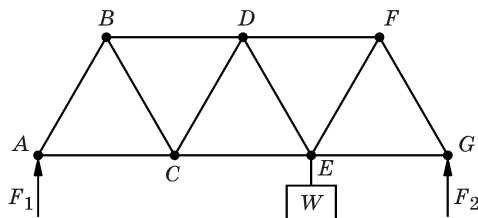


Рис. 2-26

- 2.29. В решетчатой ферме, показанной на рис. 2-27, все диагональные элементы фермы имеют длину 5 единиц, а все горизонтальные имеют длину 6 единиц. Все сочленения фермы свободно связаны между собой, весом самой фермы можно пренебречь.

- (а) Какие из элементов фермы могут быть заменены гибкими тросами для того положения груза, которое показано на рисунке?
 (б) Найдите силы в элементах BD и DE .

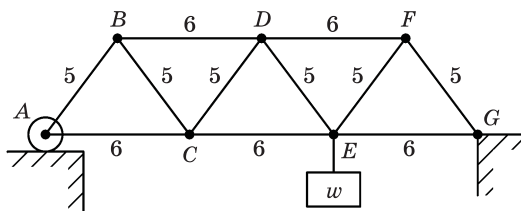


Рис. 2-27

- 2.30. В системе, показанной на рис. 2-28, груз маятника весом w изначально удерживается в вертикальном положении нитью A . Когда эту нить пережигают, маятник освобождается и качается влево, едва касаясь потолка в предельной точке своего качания. Найдите вес груза W . (Силой трения, радиусом шкива и конечными размерами грузов можно пренебречь.)

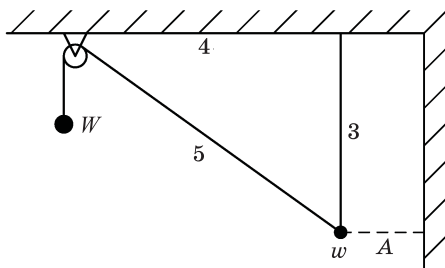


Рис. 2-28

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине «Электронный универс»
(e-Univers.ru)