

Задания для самостоятельной работы студентов Модуль 2

Модуль 2.....	3
Тема 1. Момент инерции твердого тела. Теорема Штейнера	3
Тема 2. Основное уравнение динамики вращательного движения	5
Тема 3. Закон сохранения момента импульса.....	12
Тема 4. Работа внешних сил при вращении твердого тела. Кинетическая энергия.....	15
Тема 5. Релятивистское изменение длин и интервалов времени	22
Тема 6. Релятивистское сложение скоростей.....	26
Тема 7. Релятивистская масса и релятивистский импульс	28
Тема 8. Взаимосвязь массы и энергии	29
Тема 9. Кинетическая энергия релятивистской частицы.....	31
Тема 10. Связь энергии релятивистской частицы с её импульсом.....	33

Таблица вариантов модуль 2

№ вар	Номера задач									
1	2.4	2.20	2.35	2.45	2.64	2.73	2.130	2.137	2.179	2.229
2	2.6	2.23	2.36	2.53	2.57	2.75	2.131	2.138	2.180	2.258
3	2.9	2.29	2.37	2.51	2.60	2.76	2.132	2.139	2.181	2.257
4	2.10	2.30	2.38	2.41	2.55	2.77	2.133	2.140	2.182	2.256
5	2.11	2.21	2.39	2.56	2.74	2.124	2.134	2.141	2.183	2.255
6	2.12	2.31	2.40	2.57	2.78	2.125	2.135	2.142	2.185	2.254
7	2.13	2.32	2.56	2.79	2.92	2.126	2.136	2.143	2.186	2.253
8	2.8	2.14	2.33	2.60	2.80	2.127	2.137	2.144	2.220	2.252
9	2.15	2.22	2.34	2.61	2.81	2.128	2.138	2.145	2.221	2.251
10	2.16	2.29	2.35	2.57	2.82	2.129	2.130	2.139	2.222	2.250
11	2.1	2.24	2.36	2.59	2.73	2.83	2.131	2.140	2.223	2.249
12	2.2	2.34	2.52	2.62	2.74	2.84	2.132	2.141	2.224	2.248
13	2.5	2.38	2.53	2.63	2.75	2.85	2.133	2.142	2.225	2.247
14	2.7	2.42	2.56	2.64	2.76	2.86	2.144	2.202	2.206	2.226
15	2.17	2.35	2.65	2.77	2.87	2.106	2.146	2.203	2.207	2.227
16	2.3	2.24	2.66	2.78	2.88	2.107	2.134	2.187	2.208	2.228
17	2.18	2.48	2.67	2.79	2.89	2.108	2.135	2.184	2.188	2.209
18	2.20	2.51	2.68	2.80	2.92	2.109	2.136	2.189	2.201	2.210
19	2.8	2.38	2.69	2.81	2.94	2.110	2.147	2.190	2.202	2.211
20	2.21	2.39	2.70	2.82	2.95	2.111	2.148	2.191	2.203	2.212
21	2.22	2.40	2.71	2.83	2.90	2.112	2.149	2.192	2.204	2.213
22	2.23	2.41	2.72	2.84	2.93	2.113	2.150	2.193	2.206	2.214
23	2.1	2.19	2.52	2.85	2.96	2.114	2.151	2.194	2.208	2.215
24	2.2	2.24	2.53	2.86	2.97	2.115	2.154	2.195	2.209	2.216
25	2.12	2.25	2.58	2.87	2.91	2.116	2.155	2.196	2.210	2.217
26	2.3	2.26	2.50	2.72	2.98	2.117	2.156	2.197	2.211	2.221
27	2.4	2.27	2.51	2.73	2.99	2.118	2.157	2.198	2.212	2.222
28	2.5	2.28	2.48	2.74	2.100	2.119	2.152	2.199	2.213	2.223
29	2.6	2.29	2.54	2.80	2.108	2.120	2.158	2.200	2.207	2.224
30	2.7	2.42	2.65	2.84	2.109	2.121	2.159	2.205	2.224	2.230
31	2.8	2.40	2.58	2.88	2.110	2.122	2.160	2.187	2.225	2.231
32	2.9	2.41	2.59	2.89	2.111	2.123	2.153	2.188	2.226	2.246
33	2.10	2.43	2.60	2.90	2.112	2.124	2.161	2.189	2.230	2.247
34	2.11	2.44	2.61	2.91	2.113	2.125	2.162	2.190	2.231	2.248
35	2.12	2.45	2.52	2.72	2.114	2.126	2.163	2.191	2.232	2.249
36	2.13	2.46	2.52	2.77	2.117	2.129	2.143	2.164	2.192	2.233
37	2.10	2.23	2.48	2.78	2.118	2.128	2.146	2.167	2.193	2.234
38	2.11	2.24	2.50	2.79	2.119	2.127	2.147	2.165	2.194	2.235
39	2.12	2.25	2.52	2.80	2.120	2.126	2.148	2.168	2.195	2.236
40	2.13	2.26	2.54	2.81	2.121	2.125	2.149	2.169	2.196	2.233
41	2.10	2.27	2.30	2.59	2.73	2.124	2.150	2.170	2.197	2.238
42	2.11	2.28	2.31	2.60	2.74	2.123	2.151	2.166	2.198	2.240
43	2.12	2.29	2.32	2.61	2.75	2.122	2.152	2.171	2.199	2.241
44	2.13	2.30	2.33	2.62	2.107	2.121	2.153	2.173	2.200	2.242
45	2.14	2.34	2.39	2.63	2.101	2.120	2.154	2.174	2.214	2.243
46	2.14	2.24	2.55	2.66	2.102	2.119	2.155	2.175	2.215	2.239
47	2.15	2.25	2.53	2.67	2.103	2.118	2.156	2.172	2.216	2.244
48	2.16	2.26	2.51	2.68	2.104	2.117	2.157	2.176	2.217	2.245
49	2.17	2.27	2.47	2.69	2.105	2.116	2.158	2.177	2.218	2.246
50	2.18	2.28	2.49	2.70	2.106	2.115	2.159	2.178	2.219	2.227

Модуль 2

Тема 1. Момент инерции твердого тела. Теорема Штейнера

2.1. Два маленьких шарика массой $m = 10$ г каждый скреплены тонким невесомым стержнем длиной $l = 20$ см. Определить момент инерции J системы относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через центр масс.

2.2. Два шара массами m и $2m$ ($m = 10$ г) закреплены на тонком невесомом стержне длиной $l = 40$ см так, как это указано на рис. 1, а. Определить моменты инерции J системы относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его конец в этих двух случаях. Размерами шаров пренебречь.

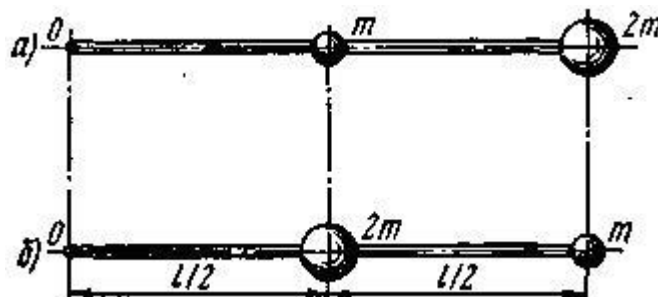


Рис. 1

2.3. Два шара массами m и $2m$ ($m = 10$ г) закреплены на тонком невесомом стержне длиной $l = 40$ см так, как это указано на рис. 1, б. Определить моменты инерции J системы относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его конец в этих двух случаях. Размерами шаров пренебречь.

2.4. Три маленьких шарика массой $m = 10$ г каждый расположены в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 20$ см и скреплены между собой. Определить момент инерции J системы относительно оси, перпендикулярной плоскости треугольника и проходящей через центр описанной окружности. Массой стержней, соединяющих шары, пренебречь.

- 2.5. Три маленьких шарика массой $m = 10$ г каждый расположены в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 20$ см и скреплены между собой. Определить момент инерции J системы относительно оси, лежащей в плоскости треугольника и проходящей через центр описанной окружности и одну из вершин треугольника. Массой стержней, соединяющих шары, пренебречь.
- 2.6. Определить момент инерции J тонкого однородного стержня длиной $l = 30$ см и массой $m = 100$ г относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его конец.
- 2.7. Определить момент инерции J тонкого однородного стержня длиной $l = 30$ см и массой $m = 100$ г относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его середину.
- 2.8. Определить момент инерции J тонкого однородного стержня длиной $l = 30$ см и массой $m = 100$ г относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через точку, отстоящую от конца стержня на $1/3$ его длины.
- 2.9. Определить момент инерции J тонкого однородного стержня длиной $l = 60$ см и массой $m = 100$ г относительно оси, перпендикулярной ему и проходящей через точку стержня, удаленную на $a = 20$ см от одного из его концов.
- 2.10. Вычислить момент инерции J проволочного прямоугольника со сторонами $a = 12$ см и $b = 16$ см относительно оси, лежащей в плоскости прямоугольника и проходящей через середины малых сторон. Масса равномерно распределена по длине проволоки с линейной плотностью $\tau = 0,1$ кг/м.
- 2.11. Найти момент инерции J тонкого однородного кольца радиусом $R = 20$ см и массой $m = 100$ г относительно оси, лежащей в плоскости кольца и проходящей через его центр.
- 2.12. Определить момент инерции J кольца массой $m = 50$ г и радиусом $R = 10$ см относительно оси, касательной к кольцу.
- 2.13. Диаметр диска $d = 20$ см, масса $m = 800$ г. Определить момент инерции J диска относительно оси, проходящей через середину одного из радиусов перпендикулярно плоскости диска.
- 2.14. Найти момент инерции I и момент импульса L Земли относительно оси вращения.

2.15. Два шара одинакового радиуса $R = 5$ см закреплены на концах невесомого стержня. Расстояние между центрами шаров $r = 0,5$ м. Масса каждого шара $m = 1$ кг. Найти момент инерции I_1 системы относительно оси, проходящей через середину стержня перпендикулярно к нему.

2.16. Два шара одинакового радиуса $R = 5$ см закреплены на концах невесомого стержня. Расстояние между центрами шаров $r = 0,5$ м. Масса каждого шара $m = 1$ кг. Найти момент инерции I_2 системы относительно той же оси, считая шары материальными точками, массы которых сосредоточены в их центрах.

2.17. Определить момент инерции сплошного однородного диска радиусом $R = 40$ см и массой $m = 1$ кг относительно оси, проходящей через середину одного из радиусов перпендикулярно плоскости диска.

2.18. Определить момент инерции J тонкого однородного стержня длиной $l = 50$ см и массой $m = 360$ г относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через конец стержня.

2.19. Определить момент инерции J тонкого однородного стержня длиной $l = 50$ см и массой $m = 360$ г относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через точку, отстоящую от конца стержня на $1/6$ его длины.

Тема 2. Основное уравнение динамики вращательного движения

2.20. Тонкий однородный стержень длиной $l = 1$ м может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку O на стержне (рис. 2). Стержень отклонили от вертикали на угол α и отпустили. Определить для начального момента времени угловое ε и тангенциальное a_τ ускорения точки B на стержне. Вычисления произвести для случая $a = 0$, $b = 2/3l$, $\alpha = \pi/2$.

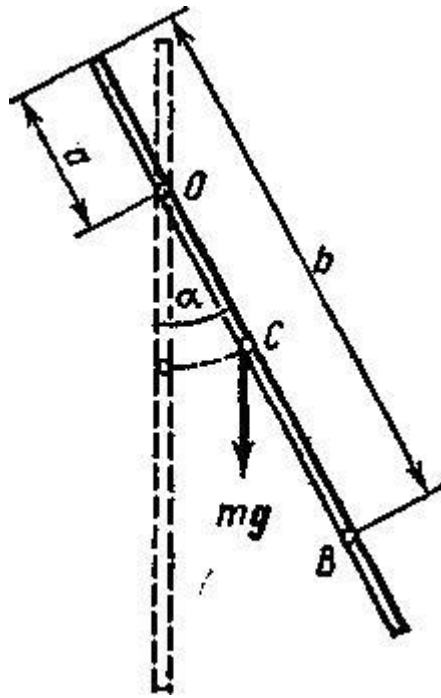


Рис. 2

2.21. Тонкий однородный стержень длиной $l = 1$ м может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку O на стержне (рис. 2). Стержень отклонили от вертикали на угол α и отпустили. Определить для начального момента времени угловое ε и тангенциальное a_t ускорения точки B на стержне. Вычисления произвести для случая $a = l/3$, $b = l$, $\alpha = \pi/3$.

2.22. Тонкий однородный стержень длиной $l = 1$ м может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку O на стержне (рис. 2). Стержень отклонили от вертикали на угол α и отпустили. Определить для начального момента времени угловое ε и тангенциальное a_t ускорения точки B на стержне. Вычисления произвести для случая $a = l/4$, $b = l/2$, $\alpha = 2/3\pi$.

2.23. Тонкий однородный стержень длиной $l = 50$ см и массой $m = 400$ г вращается с угловым ускорением $\varepsilon = 3$ рад/с² около оси, проходящей перпендикулярно стержню через его середину. Определить вращающий момент M .

2.24. На горизонтальную ось насажены маховик и легкий шкив радиусом $R = 5$ см. На шкив намотан шнур, к которому привязан груз массой $m = 0,4$ кг. Опускаясь равноускоренно, груз прошел путь $s = 1,8$ м за время $t = 3$ с. Определить момент инерции J маховика. Массу шкива считать пренебрежимо малой.

2.25. Вал массой $m = 100$ кг и радиусом $R = 5$ см вращался с частотой $n = 8$ с⁻¹. К цилиндрической поверхности вала прижали тормозную колодку с силой $F = 40$ Н, под действием которой вал остановился через $t = 10$ с. Определить коэффициент трения f .

2.26. Через блок, имеющий форму диска, перекинут шнур. К концам шнура привязали грузики массой $m_1 = 100$ г и $m_2 = 110$ г. С каким ускорением a будут двигаться грузики, если масса m блока равна 400 г? Трение при вращении блока ничтожно мало.

2.27. Через неподвижный блок массой $m = 0,2$ кг перекинут шнур, к концам которого подвесили грузы массами $m_1 = 0,3$ кг и $m_2 = 0,5$ кг. Определить силы натяжения T_1 и T_2 шнура по обе стороны блока во время движения грузов, если масса блока равномерно распределена по ободу.

2.28. Шар массой $m = 10$ кг и радиусом $R = 20$ см вращается вокруг оси, проходящей через его центр. Уравнение вращения шара имеет вид $\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$, где $B = 4$ рад/с², $C = -1$ рад/с³. Найти закон изменения момента сил, действующих на шар. Определить момент сил M в момент времени $t = 2$ с.

2.29. К ободу однородного диска радиусом $R = 0,2$ м приложена касательная сила $F = 98,1$ Н. При вращении на диск действует момент сил трения $M_{\text{тр}} = 4,9$ Н·м. Найти массу m диска, если известно, что диск вращается с угловым ускорением $\alpha = 100$ рад/с².

2.30. Однородный стержень длиной $l = 1$ м и массой $m = 0,5$ кг вращается в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси, проходящей через середину стержня. С каким угловым ускорением α вращается стержень, если на него действует момент сил $M = 98,1$ мН·м?

2.31. Однородный диск радиусом $R = 0,2$ м и массой $m = 5$ кг вращается вокруг оси, проходящей через его центр перпендикулярно к его плоскости. Зависимость угловой скорости ω вращения диска от времени t дается уравнением $\omega = A + Bt$, где $B = 8$ рад/с². Найти касательную силу F , приложенную к ободу диска. Трением пренебречь.

2.32. Маховик, момент инерции которого $I = 63,6$ кг·м², вращается с угловой скоростью $\omega = 31,4$ рад/с. Найти момент сил торможения M , по действием которого маховик останавливается через время $t = 20$ с. Маховик считать однородным диском.

2.33. К ободу колеса радиусом 0,5 м и массой $m = 50$ кг приложена касательная сила $F = 98,1$ Н. Найти угловое ускорение α колеса. Через какое время t после начала действия силы колесо будет иметь частоту вращения $n = 100$ об/с? Колесо считать однородным диском. Трением пренебречь.

2.34. Шкив радиусом $R = 0,2$ м и массой $m = 10$ кг соединен с мотором при помощи приводного ремня. Сила натяжения ремня, идущего без скольжения, $T = 14,7$ Н. Какую частоту вращения n будет иметь шкив через время $t = 10$ с после начала движения? Шкив считать однородным диском. Трением пренебречь.

2.35. Маховое колесо, момент инерции которого $I = 245$ кг·м², вращается с частотой $n = 20$ об/с. Через время $t = 1$ мин после того, как на колесо перестал действовать момент сил M , оно остановилось. Найти момент сил трения $M_{\text{тр}}$ и число оборотов N , которое сделало колесо до полной остановки после прекращения действия сил. Колесо считать однородным диском.

2.36. Две гири с массами $m_1 = 2$ кг и $m_2 = 1$ кг соединены нитью, перекинутой через блок массой $m = 1$ кг. Найти ускорение a , с которым движутся гири, и силы натяжения T_1 и T_2 нитей, к которым подвешены гири. Блок считать однородным диском. Трением пренебречь.

2.37. На барабан массой $m_0 = 9$ кг намотан шнур, к концу которого привязан груз массой $m = 2$ кг. Найти ускорение a груза. Барабан считать однородным цилиндром. Трением пренебречь.

2.38. На барабан радиусом $R = 0,5$ м намотан шнур, к концу которого привязан груз массой $m = 10$ кг. Найти момент инерции I барабана, если известно, что груз опускается с ускорением $a = 2,04$ м/с².

2.39. Две гири с разными массами соединены нитью, перекинутой через блок, момент инерции которого $I = 50$ кг·м² и радиус $R = 20$ см. Момент сил трения вращающегося блока $M_{\text{тр}} = 98,1$ Н·м. Найти разность сил натяжения нити $T_1 - T_2$ по обе стороны блока, если известно, что блок вращается с угловым ускорением $\alpha = 2,36$ рад/с². Блок считать однородным диском.

2.40. Блок массой $m = 1$ кг укреплен на конце стола (см. рис. 3). Гири 1 и 2 одинаковой массы $m_1 = m_2 = 1$ кг соединены нитью, перекинутой через блок. Коэффициент трения гири 2 о стол $k = 0,1$. Найти ускорение a , с которым движутся гири, и силы натяжения T_1 и T_2 нитей. Блок считать однородным диском. Трением в блоке пренебречь.

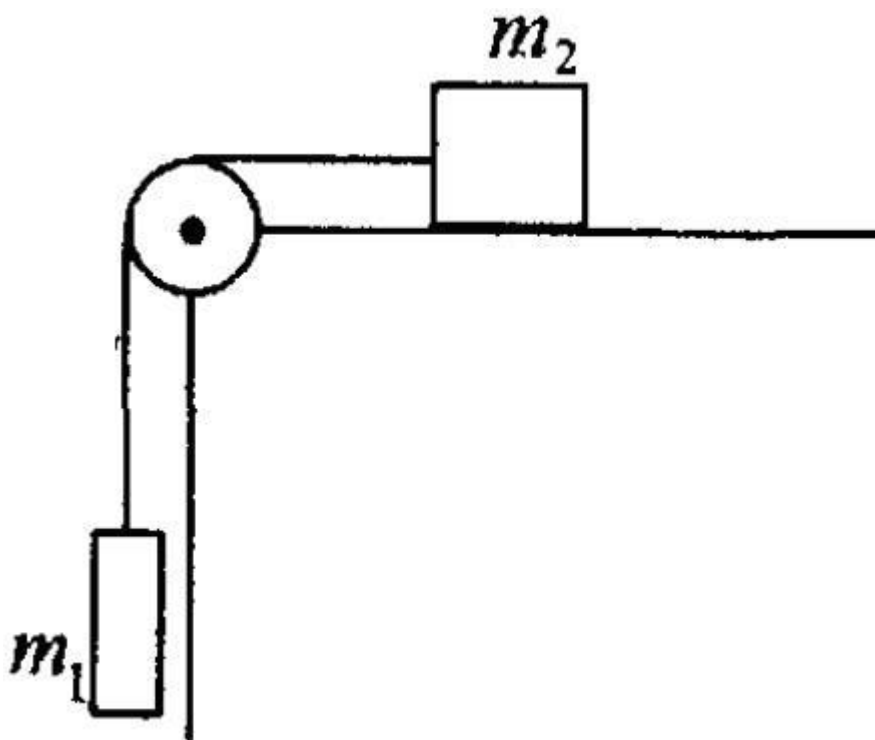


Рис. 3

2.41. Шар радиусом $R = 10$ см и массой $m = 5$ кг вращается вокруг оси симметрии согласно уравнению $\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$ ($B=2$ рад/с², $C= -0,5$ рад/с³). Определить момент сил M для $t = 3$ с.

2.42. Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого $J = 150$ кг·м², вращается с частотой $n = 240$ об/мин. Через время $t = 1$ мин, как на маховик стал действовать момент сил торможения, он остановился. Определить момент M сил торможения.

2.43. Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого $J = 150$ кг·м², вращается с частотой $n = 240$ об/мин. Через время $t = 1$ мин, как на маховик стал действовать момент сил торможения, он остановился. Определить число оборотов маховика от начала торможения до полной остановки.

2.44. К ободу однородного сплошного диска радиусом $R = 0,5$ м приложена постоянная касательная сила $F = 100$ Н. При вращении диска на него действует момент сил трения $M_{тр} = 2$ Н·м. Определить массу m диска, если известно, что его угловое ускорение ε постоянно и равно 16 рад/с².

2.45. Частота вращения n_0 маховика, момент инерции J которого равен 120 кг·м², составляет 240 об/мин. После прекращения действия на него

вращающего момента маховик под действием сил трения в подшипниках остановился за время $t = \pi$ мин. Считая трение в подшипниках постоянным, определить момент M сил трения.

2.46. Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого $J = 1,5$ кг·м², вращаясь при торможении равнозамедленно, за время $t = 1$ мин уменьшил частоту своего вращения с $n_0 = 240$ об/мин до $n_1 = 120$ об/мин. Определить угловое ускорение ϵ маховика.

2.47. Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого $J = 1,5$ кг·м², вращаясь при торможении равнозамедленно, за время $t = 1$ мин уменьшил частоту своего вращения с $n_0 = 240$ об/мин до $n_1 = 120$ об/мин. Определить момент M силы торможения.

2.48. На однородный сплошной цилиндрический вал (рис. 4) радиусом $R = 50$ см намотана легкая нить, к концу которой прикреплен груз массой $m = 6,4$ кг. Груз, разматывая нить, опускается с ускорением $a = 2$ м/с². Определить момент инерции J вала.

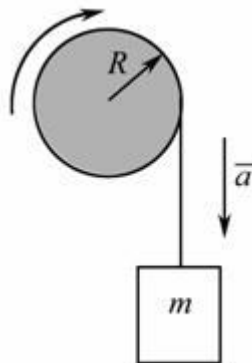


Рис. 4

2.49. На однородный сплошной цилиндрический вал (рис. 4) радиусом $R = 50$ см намотана легкая нить, к концу которой прикреплен груз массой $m = 6,4$ кг. Груз, разматывая нить, опускается с ускорением $a = 2$ м/с². Определить массу M вала.

2.50. На однородный сплошной цилиндрический вал радиусом $R = 20$ см, момент инерции которого $J = 0,15$ кг·м², намотана легкая нить, к концу которой прикреплен груз массой $m = 0,5$ кг. До начала вращения барабана высота h груза над полом составляла 2,3 м. Определить время опускания груза до пола.

2.5 1 . На однородный сплошной цилиндрический вал радиусом $R = 20$ см, момент инерции которого $J = 0,15$ кг·м², намотана легкая нить, к концу которой прикреплен груз массой $m = 0,5$ кг. До начала вращения барабана высота h груза над полом составляла 2,3 м. Определить силу натяжения нити.

2.5 2 . Через неподвижный блок в виде однородного сплошного цилиндра массой $m = 0,2$ кг перекинута невесомая нить, к концам которой прикреплены тела массами $m_1 = 0,35$ кг и $m_2 = 0,55$ кг. Пренебрегая трением в оси блока, определить ускорение грузов.

2.5 3 . Через неподвижный блок в виде однородного сплошного цилиндра массой $m = 0,2$ кг перекинута невесомая нить, к концам которой прикреплены тела массами $m_1 = 0,35$ кг и $m_2 = 0,55$ кг. Пренебрегая трением в оси блока, определить отношение T_2/T_1 сил натяжения нити.

2.5 4 . Тело массой $m_1 = 0,25$ кг (рис. 5), соединенное невесомой нитью посредством блока (в виде полого тонкостенного цилиндра) с телом массой $m_2 = 0,2$ кг, скользит по поверхности горизонтального стола. Масса блока $m = 0,15$ кг. Коэффициент трения f тела о поверхность равен 0,2. Пренебрегая трением в подшипниках, определить ускорение a , с которым будут двигаться эти тела.

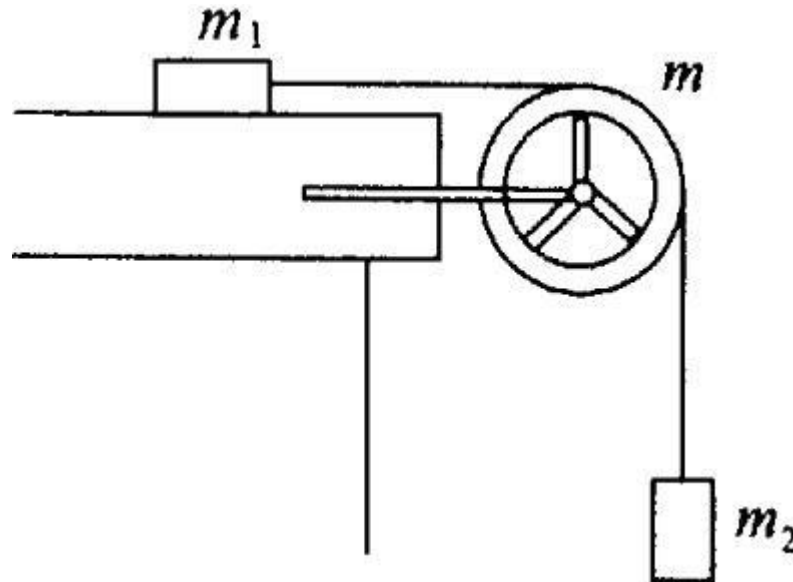


Рис. 5

2.5 5 . Тело массой $m_1 = 0,25$ кг (рис. 5), соединенное невесомой нитью посредством блока (в виде полого тонкостенного цилиндра) с телом массой

$m_2 = 0,2$ кг, скользит по поверхности горизонтального стола. Масса блока $m = 0,15$ кг. Коэффициент трения f тела о поверхность равен $0,2$. Пренебрегая трением в подшипниках, определить силы натяжения T_1 и T_2 нити по обе стороны блока.

Тема 3. Закон сохранения момента импульса

2.56. Однородный тонкий стержень массой $m_1 = 0,2$ кг и длиной $l = 1$ м может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси z , проходящей через точку O (рис. 6). В точку A на стержне попадает пластилиновый шарик, летящий горизонтально (перпендикулярно оси z) со скоростью $v = 10$ м/с и прилипает к стержню. Масса m_2 шарика равна 10 г. Определить угловую скорость ω стержня и линейную скорость u нижнего конца стержня в начальный момент времени. Вычисления выполнить при значении расстояния между точками A и O равном $l/2$.

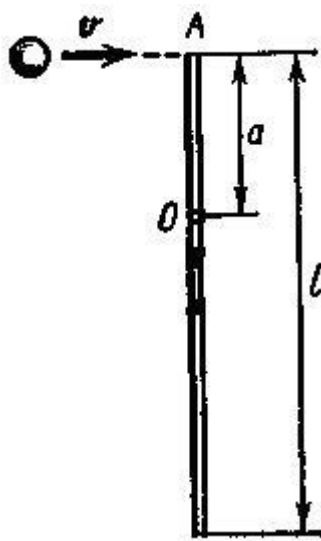


Рис. 6

2.57. Однородный тонкий стержень массой $m_1 = 0,2$ кг и длиной $l = 1$ м может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси z , проходящей через точку O (рис. 6). В точку A на стержне попадает пластилиновый шарик, летящий горизонтально (перпендикулярно оси z) со скоростью $v = 10$ м/с и прилипает к стержню. Масса m_2 шарика равна 10 г. Определить угловую скорость ω

стержня и линейную скорость u нижнего конца стержня в начальный момент времени. Вычисления выполнить при значении расстояния между точками A и O равном $l/3$.

2.58. Однородный тонкий стержень массой $m_1 = 0,2$ кг и длиной $l = 1$ м может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси z , проходящей через точку O (рис. 6). В точку A на стержне попадает пластилиновый шарик, летящий горизонтально (перпендикулярно оси z) со скоростью $v = 10$ м/с и прилипает к стержню. Масса m_2 шарика равна 10 г. Определить угловую скорость ω стержня и линейную скорость u нижнего конца стержня в начальный момент времени. Вычисления выполнить при значении расстояния между точками A и O равном $l/4$.

2.59. Человек стоит на скамье Жуковского и ловит рукой мяч массой $m = 0,4$ кг, летящий в горизонтальном направлении со скоростью $v = 20$ м/с. Траектория мяча проходит на расстоянии $r = 0,8$ м от вертикальной оси вращения скамьи. С какой угловой скоростью ω начнет вращаться скамья Жуковского с человеком, поймавшим мяч, если суммарный момент инерции J человека и скамьи равен 6 кг·м²?

2.60. Маховик, имеющий вид диска радиусом $R = 40$ см и массой $m_1 = 48$ кг, может вращаться вокруг горизонтальной оси. К его цилиндрической поверхности прикреплен конец нерастяжимой нити, к другому концу которой подвешен груз массой $m_2 = 0,2$ кг (рис. 7). Груз был приподнят и затем опущен. Упав свободно с высоты $h = 2$ м, груз натянул нить и благодаря этому привел маховик во вращение. Какую угловую скорость ω груз сообщил при этом маховику?

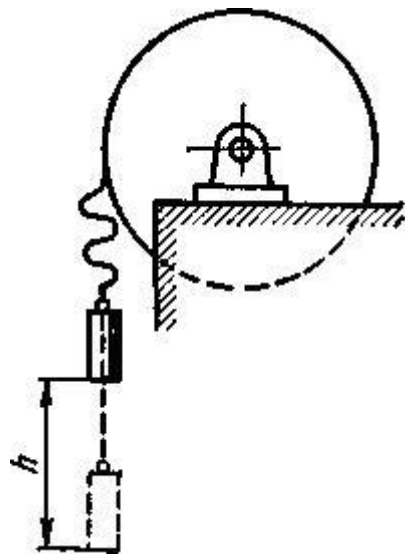


Рис. 7

2.61. На краю горизонтальной платформы, имеющей форму диска радиусом $R = 2$ м, стоит человек массой $m_1 = 80$ кг. Масса m_2 платформы равна 240 кг. Платформа может вращаться вокруг вертикальной оси, проходящей через ее центр. Пренебрегая трением, найти, с какой угловой скоростью ω будет вращаться платформа, если человек будет идти вдоль ее края со скоростью $v = 2$ м/с относительно платформы.

2.62. Платформа, имеющая форму диска, может вращаться около вертикальной оси. На краю платформы стоит человек массой $m_1 = 60$ кг. На какой угол повернется платформа, если человек пойдет вдоль края платформы и, обойдя его, вернется в исходную точку на платформе? Масса m_2 платформы равна 240 кг. Момент инерции J человека рассчитывать, как для материальной точки.

2.63. Платформа в виде диска радиусом $R = 1$ м вращается по инерции с частотой $n_1 = 6$ мин⁻¹. На краю платформы стоит человек, масса m которого равна 80 кг. С какой частотой n будет вращаться платформа, если человек перейдет в ее центр? Момент инерции J платформы равен 120 кг·м². Момент инерции человека рассчитывать, как для материальной точки.

2.64. В центре скамьи Жуковского стоит человек и держит в руках стержень длиной $l = 2,4$ м и массой $m = 8$ кг, расположенный вертикально по оси вращения скамейки. Скамья с человеком вращается с частотой $n_1 = 1$ с⁻¹. С какой частотой n_2 будет вращаться скамья с человеком, если он повернет стержень в горизонтальное положение? Суммарный момент инерции J человека и скамьи равен 6 кг·м².

2.65. Человек стоит на скамье Жуковского и держит в руках стержень, расположенный вертикально вдоль оси вращения скамейки. Стержень служит осью вращения колеса, расположенного на верхнем конце стержня. Скамья неподвижна, колесо вращается с частотой $n = 10$ с⁻¹. Радиус R колеса равен 20 см, его масса $m = 3$ кг. Определить частоту вращения n_2 скамьи, если человек повернет стержень на угол 180°? Суммарный момент инерции J человека и скамьи равен 6 кг·м². Массу колеса можно считать равномерно распределенной по ободу.

2.66. Горизонтальная платформа массой $m = 100$ кг вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через центр платформы, с частотой $n_1 = 10$ об/мин. Человек массой $m_0 = 60$ кг стоит при этом на краю платформы. С какой частотой n_2 начнет вращаться платформа, если человек перейдет от края платформы к ее центру? Считать платформу однородным диском, а человека — точечной массой.

2.67. Горизонтальная платформа массой $m = 80$ кг и радиусом $R = 1$ м вращается с частотой $n_1 = 20$ об/мин. В центре платформы стоит человек и держит в расставленных руках гири. С какой частотой n_2 будет вращаться платформа, если человек, опустив руки, уменьшит свой момент инерции от $I_1 = 2,94$ до $I_2 = 0,98$ кг·м²? Считать платформу однородным диском.

2.68. Человек массой $m_0 = 60$ кг находится на неподвижной платформе массой $m = 100$ кг. С какой частотой n будет вращаться платформа, если человек будет двигаться по окружности радиусом $r = 5$ м вокруг оси вращения? Скорость движения человека относительно платформы $v_0 = 4$ км/ч. Радиус платформы $R = 10$ м. Считать платформу однородным диском, а человека — точечной массой.

2.69. Горизонтальная платформа массой $m = 25$ кг и радиусом $R = 0,8$ м вращается с частотой $n_1 = 18$ мин⁻¹. В центре стоит человек и держит в расставленных руках гири. Считая платформу диском, определить частоту вращения платформы, если человек, опустив руки, уменьшит свой момент инерции от $J_1 = 3,5$ кг·м² до $J_2 = 1$ кг·м².

2.70. Человек, стоящий на скамье Жуковского, держит в руках стержень длиной $l = 2,5$ м и массой $m = 8$ кг, расположенный вертикально вдоль оси вращения скамейки. Эта система (скамья и человек) обладает моментом инерции $J = 10$ кг·м² и вращается с частотой $n_1 = 12$ мин⁻¹. Определить частоту n_2 вращения системы, если стержень повернуть в горизонтальное положение.

2.71. Человек массой $m = 60$ кг, стоящий на краю горизонтальной платформы массой $M = 120$ кг, вращающейся по инерции вокруг неподвижной вертикальной оси с частотой $n_1 = 10$ мин⁻¹, переходит к ее центру. Считая платформу круглым однородным диском, а человека — точечной массой, определить, с какой частотой n_2 будет тогда вращаться платформа.

2.72. Платформа, имеющая форму сплошного однородного диска, может вращаться по инерции вокруг неподвижной вертикальной оси. На краю платформы стоит человек, масса которого в 3 раза меньше массы платформы. Определить, как и во сколько раз изменится угловая скорость вращения платформы, если человек перейдет ближе к центру на расстояние, равное половине радиуса платформы.

Тема 4. Работа внешних сил при вращении твердого тела. Кинетическая энергия

2.73. Шарик массой $m = 100$ г, привязанный к концу нити длиной $l_1 = 1$ м, вращается, опираясь на горизонтальную плоскость, с частотой $n_1 = 1$ с⁻¹. Нить укорачивается и шарик приближается к оси вращения до расстояния $l_2 = 0,5$ м. С какой частотой будет при этом вращаться шарик? Трением шарика о плоскость пренебречь.

2.74. Шарик массой $m = 100$ г, привязанный к концу нити длиной $l_1 = 1$ м, вращается, опираясь на горизонтальную плоскость, с частотой $n_1 = 1$ с⁻¹. Нить укорачивается и шарик приближается к оси вращения до расстояния $l_2 = 0,5$ м. Какую работу A совершит внешняя сила, укорачивая нить? Трением шарика о плоскость пренебречь.

2.75. Маховик вращается по закону, выражаемому уравнением $\varphi = A + Bt + Ct^2$, где $A = 2$ рад, $B = 32$ рад/с, $C = -4$ рад/с². Найти среднюю мощность $\langle N \rangle$, развиваемую силами, действующими на маховик при его вращении, до остановки, если его момент инерции $J = 100$ кг·м².

2.76. Маховик вращается по закону, выражаемому уравнением $\varphi = A + Bt + Ct^2$, где $A = 2$ рад, $B = 16$ рад/с, $C = -2$ рад/с². Момент инерции J маховика равен 50 кг·м². Найти законы, по которым меняются вращающий момент M и мощность N . Чему равна мощность в момент времени $t = 3$ с?

2.77. Якорь мотора вращается с частотой $n = 1500$ мин⁻¹. Определить вращающий момент M , если мотор развивает мощность $N = 500$ Вт.

2.78. Со шкива диаметром $d = 0,48$ м через ремень передается мощность $N = 9$ кВт. Шкив вращается с частотой $n = 240$ мин⁻¹. Сила натяжения T_1 ведущей ветви ремня в два раза больше силы натяжения T_2 ведомой ветви. Найти силы натяжения обеих ветвей ремня.

2.79. Маховик в виде диска массой $m = 80$ кг и радиусом $R = 30$ см находится в состоянии покоя. Какую работу A_1 нужно совершить, чтобы сообщить маховику частоту $n = 10$ с⁻¹?

2.80. Кинетическая энергия T вращающегося маховика равна 1 кДж. Под действием постоянного тормозящего момента маховик начал вращаться равнозамедленно и, сделав $N = 80$ оборотов, остановился. Определить момент M силы торможения.

2.81. Маховик, момент инерции J которого равен 40 кг·м², начал вращаться равноускоренно из состояния покоя под действием момента силы $M = 20$ Н·м. Вращение продолжалось в течение $t = 10$ с. Определить кинетическую энергию T , приобретенную маховиком.

- 2.82. Пуля массой $m = 10$ г летит со скоростью $v = 800$ м/с, вращаясь около продольной оси с частотой $n = 3000$ с⁻¹. Принимая пулю за цилиндр диаметром $d = 8$ мм, определить полную кинетическую энергию T пули.
- 2.83. Сплошной цилиндр массой $m = 4$ кг катится без скольжения по горизонтальной поверхности. Линейная скорость v оси цилиндра равна 1 м/с. Определить полную кинетическую энергию T цилиндра.
- 2.84. Обруч и сплошной цилиндр, имеющие одинаковую массу $m = 2$ кг, катятся без скольжения с одинаковой скоростью $v = 5$ м/с. Найти кинетические энергии T_1 и T_2 этих тел.
- 2.85. Шар катится без скольжения по горизонтальной поверхности. Полная кинетическая энергия T шара равна 14 Дж. Определить кинетическую энергию T_1 поступательного и T_2 вращательного движения шара.
- 2.86. Определить линейную скорость v центра шара, скатившегося без скольжения с наклонной плоскости высотой $h = 1$ м.
- 2.87. Сколько времени t будет скатываться без скольжения обруч с наклонной плоскости длиной $l = 2$ м и высотой $h = 10$ см?
- 2.88. Тонкий прямой стержень длиной $l = 1$ м прикреплен к горизонтальной оси, проходящей через его конец. Стержень отклонили на угол $\varphi = 60^\circ$ от положения равновесия и отпустили. Определить линейную скорость v нижнего конца стержня в момент прохождения через положение равновесия.
- 2.89. Однородный тонкий стержень длиной $l = 1$ м может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси z , проходящей через точку O на стержне. Стержень отклонили от положения равновесия на угол α и отпустили (см. рис. 2). Определить угловую скорость ω стержня и линейную скорость v точки B на стержне в момент прохождения им положения равновесия. Вычисления выполнить для случая $a = 0$, $b = l/2$, $\alpha = \pi/3$.
- 2.90. Однородный тонкий стержень длиной $l = 1$ м может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси z , проходящей через точку O на стержне. Стержень отклонили от положения равновесия на угол α и отпустили (см. рис. 2). Определить угловую скорость ω стержня и линейную скорость v точки B на стержне в момент прохождения им положения равновесия. Вычисления выполнить для случая $a = l/3$, $b = 2l/3$, $\alpha = \pi/2$.
- 2.91. Однородный тонкий стержень длиной $l = 1$ м может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси z , проходящей через точку O на стержне. Стержень отклонили от положения равновесия на угол α и отпустили (см. рис. 2). Определить угловую скорость ω стержня и линейную

скорость v точки B на стержне в момент прохождения им положения равновесия. Вычисления выполнить для случая $a = l/4$, $b = l$, $\alpha = 2\pi/3$.

2.92. Карандаш длиной $l = 15$ см, поставленный вертикально, падает на стол. Какую угловую ω и линейную v скорости будет иметь в конце падения середина карандаша? Считать, что трение настолько велико, что нижний конец карандаша не проскальзывает.

2.93. Карандаш длиной $l = 15$ см, поставленный вертикально, падает на стол. Какую угловую ω и линейную v скорости будет иметь в конце падения верхний его конец? Считать, что трение настолько велико, что нижний конец карандаша не проскальзывает.

2.94. На барабан радиусом $R = 20$ см, момент инерции которого $I = 0,1$ кг·м², намотан шнур, к концу которого привязан груз массой $m = 0,5$ кг. До начала вращения барабана высота груза над полом $h_0 = 1$ м. Через какое время t груз опустится до пола? Найти кинетическую энергию E_k груза в момент удара о пол и силу натяжения нити T . Трением пренебречь.

2.95. Диск массой $m = 2$ кг катится без скольжения по горизонтальной плоскости со скоростью $v = 4$ м/с. Найти кинетическую энергию E_k диска.

2.96. Шар диаметром $D = 6$ см и массой $m = 0,25$ кг катится без скольжения по горизонтальной плоскости с частотой вращения $n = 4$ об/с. Найти кинетическую энергию E_k шара.

2.97. Обруч и диск одинаковой массы $m_1 = m_2$ катятся без скольжения с одной и той же скоростью v . Кинетическая энергия обруча $E_{k1} = 39,2$ Дж. Найти кинетическую энергию E_{k2} диска.

2.98. Шар массой $m = 1$ кг, катящийся без скольжения, ударяется о стенку и откатывается от нее. Скорость шара до удара о стенку $v = 10$ см/с, после удара $u = 8$ см/с. Найти количество теплоты Q , выделившееся при ударе шара о стенку.

2.99. Диск диаметром $D = 60$ см и массой $m = 1$ кг вращается вокруг оси, проходящей через центр перпендикулярно к его плоскости, с частотой $n = 20$ об/с. Какую работу A надо совершить, чтобы остановить диск?

2.100. Кинетическая энергия вала, вращающегося с частотой $n = 5$ об/с, $E_k = 60$ Дж. Найти момент импульса L вала.

2.101. Найти кинетическую энергию E_k велосипедиста (вместе с велосипедом), едущего со скоростью $v = 9$ км/ч. Масса велосипедиста вместе

с велосипедом $m = 78$ кг, причем на колеса приходится масса $m_0 = 3$ кг. Колеса велосипеда считать обручами.

2.102. Мальчик катит обруч по горизонтальной дороге со скоростью $v = 7,2$ км/ч. На какое расстояние s может вкатиться обруч на горку за счет его кинетической энергии? Уклон горки равен 10 м на каждые 100 м пути.

2.103. С какой наименьшей высоты h должен съехать велосипедист, чтобы по инерции (без трения) проехать дорожку, имеющую форму «мертвой петли» радиусом $R = 0,3$ м, и не оторваться от дорожки в верхней точке петли? Масса велосипедиста вместе с велосипедом $m = 75$ кг, причем на колеса приходится масса $m_0 = 3$ кг. Колеса велосипеда считать обручами.

2.104. Медный шар радиусом $R = 10$ см вращается с частотой $n = 2$ об/с вокруг оси, проходящей через его центр. Какую работу A надо совершить, чтобы увеличить угловую скорость ω вращения шара вдвое?

2.105. Найти линейные ускорения a центров шара, диска и обруча, скатывающихся без скольжения с наклонной плоскости. Угол наклона плоскости $\varphi = 30^\circ$, начальная скорость всех тел $v_0 = 0$. Сравнить найденные ускорения с ускорением тела, соскальзывающего с наклонной плоскости при отсутствии трения.

2.106. Найти линейные скорости v движения центров шара, диска и обруча, скатывающихся без скольжения с наклонной плоскости. Высота наклонной плоскости $h = 0,5$ м, начальная скорость всех тел $v_0 = 0$. Сравнить найденные скорости со скоростью тела, соскальзывающего с наклонной плоскостью при отсутствии трения.

2.107. Колесо, вращаясь равнозамедленно, уменьшило за время $t = 1$ мин частоту вращения от $n_1 = 300$ об/мин до $n_2 = 180$ об/мин. Момент инерции колеса $I = 2$ кг·м². Найти угловое ускорение α колеса, момент сил торможения M , работу A сил торможения и число оборотов N , сделанных колесом за время $t = 1$ мин.

2.108. Вентилятор вращается с частотой $n = 900$ об/мин. После выключения вентилятора, вращаясь равнозамедленно, сделал до остановки $N = 75$ об. Работа сил торможения $A = 44,4$ Дж. Найти момент инерции I вентилятора и момент сил торможения M .

2.109. Маховое колесо, момент инерции которого $I = 245$ кг·м², вращается с частотой $n = 20$ об/с. После того как на колесо перестал действовать вращающий момент, оно остановилось, сделав $N = 1000$ об. Найти момент сил трения $M_{\text{тр}}$ и время t , прошедшее от момента прекращения действия вращающего момента до остановки колеса.

- 2.110. По ободу шкива, насаженного на общую ось с маховым колесом, намотана нить, к концу которой подвешен груз массой $m = 1$ кг. На какое расстояние h должен опуститься груз, чтобы колесо со шкивом получило частоту вращения $n = 60$ об/мин? Момент инерции колеса со шкивом $I = 0,42$ кг·м², радиус шкива $R = 10$ см.
- 2.111. Маховое колесо начинает вращаться с угловым ускорением $\alpha = 0,5$ рад/с² и через время $t_1 = 16$ с после начала движения приобретает момент импульса $L = 73,5$ кг·м²/с. Найти кинетическую энергию E_k колеса через время $t_2 = 20$ с после начала движения.
- 2.112. Маховик вращается с частотой $n = 10$ об/с. Его кинетическая энергия $E_k = 7,85$ кДж. За какое время t момент сил $M = 50$ Н·м, приложенный к маховику, увеличит угловую скорость ω маховика вдвое?
- 2.113. К ободу диска массой $m = 5$ кг приложена касательная сила $F = 19,6$ Н. Какую кинетическую энергию E_k будет иметь диск через время $t = 5$ с после начала действия силы?
- 2.114. Однородный стержень длиной $l = 1$ м подвешен на горизонтальной оси, проходящей через верхний конец стержня. На какой угол φ надо отклонить стержень, чтобы нижний конец стержня при прохождении положения равновесия имел скорость $v = 5$ м/с?
- 2.115. Однородный стержень длиной $l = 85$ см подвешен на горизонтальной оси, проходящей через верхний конец стержня. Какую скорость v надо сообщить нижнему концу стержня, чтобы он сделал полный оборот вокруг оси?
- 2.116. Карандаш длиной $l = 15$ см, поставленный вертикально, падает на стол. Какую угловую скорость ω и линейную скорость v будут иметь в конце падения середина и верхний конец карандаша?
- 2.117. Шар и сплошной цилиндр, изготовленные из одного и того же материала, одинаковой массы катятся без скольжения с одинаковой скоростью. Определить, во сколько раз кинетическая энергия шара меньше кинетической энергии сплошного цилиндра.
- 2.118. Полная кинетическая энергия T диска, катящегося по горизонтальной поверхности, равна 24 Дж. Определить кинетическую энергию T_1 поступательного и T_2 вращательного движения диска.
- 2.119. Полый тонкостенный цилиндр массой $m = 0,5$ кг, катящийся без скольжения, ударяется о стену и откатывается от нее. Скорость цилиндра до

удара о стену $v_1 = 1,4$ м/с, после удара $v'_1 = 1$ м/с. Определить выделившееся при ударе количество теплоты Q .

2.120. К ободу однородного сплошного диска массой $m = 10$ кг, насаженного на ось, приложена постоянная касательная сила $F = 30$ Н. Определить кинетическую энергию диска через время $t = 4$ с после начала действия силы.

2.121. Вентилятор вращается с частотой $n = 600$ об/мин. После выключения он начал вращаться равнозамедленно и, сделав $N = 50$ оборотов, остановился. Работа A сил торможения равна 31,4 Дж. Определить: 1) момент M сил торможения; 2) момент инерции J вентилятора.

2.122. Сплошной однородный диск скатывается без скольжения по наклонной плоскости, образующей угол α с горизонтом. Определить линейное ускорение a центра диска.

2.123. Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого $J = 1,5$ кг·м², вращаясь при торможении равнозамедленно, за время $t = 1$ мин уменьшил частоту своего вращения с $n_0 = 240$ об/мин до $n_1 = 120$ об/мин. Определить работу торможения A .

2.124. Колесо радиусом $R = 30$ см и массой $m = 3$ кг скатывается по наклонной плоскости длиной $l = 5$ м и углом наклона $\alpha = 25^\circ$. Определить момент инерции колеса, если его скорость v в конце движения составляла 4,6 м/с.

2.125. С наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 30^\circ$ к горизонту, скатывается без скольжения шарик. Пренебрегая трением, определить время движения шарика по наклонной плоскости, если известно, что его центр масс при скатывании понизился на 30 см.

2.126. Полый тонкостенный цилиндр катится вдоль горизонтального участка дороги со скоростью $v = 1,5$ м/с. Определить путь, который он пройдет в гору за счет кинетической энергии, если уклон горы равен 5 м на каждые 100 м пути.

2.127. На однородный сплошной цилиндрический вал радиусом $R = 20$ см, момент инерции которого $J = 0,15$ кг·м², намотана легкая нить, к концу которой прикреплен груз массой $m = 0,5$ кг. До начала вращения барабана высота h груза над полом составляла 2,3 м. Определить кинетическую энергию груза в момент удара о пол.

2.128. Однородный шар радиусом $r = 20$ см скатывается без скольжения с вершины сферы радиусом $R = 50$ см. Определить угловую скорость ω шара после отрыва от поверхности сферы.

2.129. Маховик начинает вращаться из состояния покоя с постоянным угловым ускорением $\varepsilon = 0,4$ рад/с². Определить кинетическую энергию маховика через время $t_2=25$ с после начала движения, если через $t_1 =10$ с после начала движения момент импульса L_1 маховика составлял 60 кг·м²/с.

Тема 5. Релятивистское изменение длин и интервалов времени

2.130. Предположим, что мы можем измерить длину стержня с точностью $\Delta l = 0,1$ мкм. При какой относительной скорости u двух инерциальных систем отсчета можно было бы обнаружить релятивистское сокращение длины стержня, собственная длина l_0 которого равна 1 м?

2.131. Двое часов после синхронизации были помещены в начало систем координат K и K' , движущиеся друг относительно друга. При какой скорости u их относительного движения возможно обнаружить релятивистское замедление хода часов, если собственная длительность τ_0 измеряемого промежутка времени составляет 1 с? Измерение времени производится с точностью $\Delta t = 10$ пс.

2.132. На космическом корабле-спутнике находятся часы, синхронизированные до полета с земными. Скорость v_0 спутника составляет $7,9$ км/с. На сколько отстанут часы на спутнике по измерениям земного наблюдателя по своим часам за время $\tau_0 = 0,5$ года?

2.133. Фотонная ракета движется относительно Земли со скоростью $v = 0,6$ с. Во сколько раз замедлится ход времени в ракете с точки зрения земного наблюдателя?

2.134. В системе K' покоится стержень, собственная длина l_0 которого равна 1 м. Стержень расположен так, что составляет угол $\varphi_0 = 45^\circ$ с осью x' . Определить длину l стержня и угол φ в системе K , если скорость v_0 системы K' относительно K равна $0,8$ с.

2.135. В системе K находится квадрат, сторона которого параллельна оси x' . Определить угол φ между его диагоналями в системе K , если система K' движется относительно K со скоростью $v = 0,95$ с.

- 2.136. В лабораторной системе отсчета (K -система) пи-мезон с момента рождения до момента распада пролетел расстояние $l = 75$ м. Скорость v пи-мезона равна $0,995 c$. Определить собственное время жизни τ_0 мезона.
- 2.137. Собственное время жизни τ_0 мю-мезона равно 2 мкс. От точки рождения до точки распада в лабораторной системе отсчета мю-мезон пролетел расстояние $l = 6$ км. С какой скоростью v (в долях скорости света) двигался мезон?
- 2.138. При какой относительной скорости v движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составляет 25% ?
- 2.139. Какую скорость v должно иметь движущееся тело, чтобы его продольные размеры уменьшились в 2 раза?
- 2.140. Найти релятивистское сокращение размеров тела, скорость которого равна 95% скорости света.
- 2.141. Во сколько раз увеличивается продолжительность существования нестабильной частицы по часам неподвижного наблюдателя, если она начинает двигаться со скоростью, составляющей 99% скорости света?
- 2.142. Мезон, входящий в состав космических лучей, движется со скоростью, составляющей 95% скорости света. Какой промежуток времени $\Delta \tau$ по часам неподвижного наблюдателя соответствует одной секунде «собственного времени» мезона?
- 2.143. До какой энергии W_k можно ускорить частицы в циклотроне, если относительное увеличение периода обращения частицы не должно превышать 5% ? Задачу решить для протонов.
- 2.144. До какой энергии W_k можно ускорить частицы в циклотроне, если относительное увеличение периода обращения частицы не должно превышать 5% ? Задачу решить для дейтонов.
- 2.145. В лабораторной системе отсчета в точках с координатами x_1 и $x_2 = x_1 + l_0$ одновременно происходят события 1 и 2, причем $l_0 = 1,4$ км. Определить расстояние l' , фиксируемое наблюдателем в системе отсчета, связанной с ракетой, которая движется со скоростью $v = 0,6 c$ в отрицательном направлении оси x .
- 2.146. В лабораторной системе отсчета в точках с координатами x_1 и $x_2 = x_1 + l_0$ одновременно происходят события 1 и 2, причем $l_0 = 1,4$ км. Определить время между этими событиями, фиксируемое наблюдателем в системе отсчета, связанной с ракетой.

- 2.147. Две нестабильные частицы движутся в системе отсчета K в одном направлении вдоль одной прямой с одинаковой скоростью $v = 0,6 c$. Расстояние между частицами в системе K равно 64 м. Обе частицы распались одновременно в системе K' , которая связана с ними. Определить промежуток времени между распадом частиц в системе K .
- 2.148. Определить, во сколько раз увеличивается время жизни нестабильной частицы (по часам неподвижного наблюдателя), если она начинает двигаться со скоростью, равной $0,9 c$.
- 2.149. Собственное время жизни частицы отличается на 1 % от времени жизни по неподвижным часам. Определить $\beta = v/c$.
- 2.150. Космический корабль движется со скоростью $v = 0,8 c$ по направлению к Земле. Определить расстояние, пройденное им в системе отсчета, связанной с Землей (системе K), за $t_0 = 0,5 c$, отсчитанное по часам в космическом корабле (системе K').
- 2.151. Мюоны, рождаясь в верхних слоях атмосферы, при скорости $v = 0,995 c$ пролетают до распада $l = 6$ км. Определить собственную длину пути, пройденную ими до распада.
- 2.152. Мюоны, рождаясь в верхних слоях атмосферы, при скорости $v = 0,995 c$ пролетают до распада $l = 6$ км. Определить время жизни мюона для наблюдателя на Земле.
- 2.153. Мюоны, рождаясь в верхних слоях атмосферы, при скорости $v = 0,995 c$ пролетают до распада $l = 6$ км. Определить собственное время жизни мюона.
- 2.154. Определить относительную скорость движения, при которой релятивистское сокращение линейных размеров тела составляет 10 % .
- 2.155. В системе K' покоится стержень (собственная длина $l_0 = 1,5$ м), ориентированный под углом $\theta' = 30^\circ$ к оси Ox' . Система K' движется относительно системы K со скоростью $v = 0,6 c$. Определить в системе K длину стержня l .
- 2.156. В системе K' покоится стержень (собственная длина $l_0 = 1,5$ м), ориентированный под углом $\theta' = 30^\circ$ к оси Ox' . Система K' движется относительно системы K со скоростью $v = 0,6 c$. Определить в системе K соответствующий угол θ .

2.157. Определить собственную длину стержня, если в лабораторной системе его скорость $v = 0,6 c$, длина $l = 1,5$ м и угол между ним и направлением движения $\theta = 30^\circ$.

2.158. Собственная длина стержня равна 1,0 м. Определить его длину для наблюдателя, относительно которого стержень перемещается со скоростью $0,60 c$, направленной вдоль стержня.

2.159. На какую часть от собственной длины изменяется длина стержня для неподвижного наблюдателя, относительно которого стержень движется со скоростью $\frac{4}{5} c$, направленной вдоль стержня?

2.160. При какой скорости движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составляет 25 %?

2.161. Какой стала бы длина тела в направлении движения относительно неподвижного наблюдателя при $v = c$?

2.162. Две ракеты движутся равномерно и прямолинейно параллельными курсами в одном направлении со скоростью $0,6 c$ относительно Земли. В первой ракете происходят два последовательных события через промежуток времени 8 ч. Какое время прошло между этими событиями по часам наблюдателя, находящегося во второй ракете? По часам наблюдателя, находящегося на Земле?

2.163. Частицы космического излучения мю-мезоны (μ -мезоны) рождаются в верхних слоях атмосферы. При скорости $0,995 c$ они успевают пролететь до своего распада расстояние $6,0 \cdot 10^3$ м. Определить время жизни μ -мезона для наблюдателя на Земле, собственное время его жизни, собственную длину пути, пройденного μ -мезоном.

2.164. Какое время пройдет по часам в ракете, движущейся равномерно и прямолинейно со скоростью v , если на часах, покоящихся в инерциальной системе отсчета, относительно которой движется ракета, прошел 1 ч? Скорость ракеты считать равной 3000 км/с.

2.165. Какое время пройдет по часам в ракете, движущейся равномерно и прямолинейно со скоростью v , если на часах, покоящихся в инерциальной системе отсчета, относительно которой движется ракета, прошел 1 ч? Скорость ракеты считать равной 100 000 км/с.

2.166. Какое время пройдет по часам в ракете, движущейся равномерно и прямолинейно со скоростью v , если на часах, покоящихся в инерциальной системе отсчета, относительно которой движется ракета, прошел 1 ч? Скорость ракеты считать равной 250 000 км/с.

2.167. Какое время пройдет на Земле, если в ракете, движущейся со скоростью $0,99 c$ относительно Земли, пройдет 10 лет?

2.168. Сколько времени для земного наблюдателя и для космонавтов займет космическое путешествие до звезды и обратно на ракете, летящей со скоростью $0,99 c$? Расстояние от земного наблюдателя до звезды равно 40 световым годам.

2.169. μ -Мезон, рождающийся в верхних слоях атмосферы, пролетает до своего распада $5,00$ км. Определить, с какой скоростью летит μ -мезон, если его собственное время жизни составляет $2,21 \cdot 10^{-6}$ с.

2.170. Собственное время жизни μ -мезона составляет $2,21 \cdot 10^{-6}$ с. Определить, прилетают ли μ -мезоны, наблюдаемые у поверхности Земли, из мирового пространства или рождаются в земной атмосфере. Скорость μ -мезона относительно Земли принять равной $0,99 c$.

Тема 6. Релятивистское сложение скоростей

2.171. Две релятивистские частицы движутся в лабораторной системе отсчета со скоростями $v_1 = 0,6 c$ и $v_2 = 0,9 c$ вдоль одной прямой. Определить их относительную скорость v_{21} в случае, если частицы движутся в одном направлении.

2.172. Две релятивистские частицы движутся в лабораторной системе отсчета со скоростями $v_1 = 0,6 c$ и $v_2 = 0,9 c$ вдоль одной прямой. Определить их относительную скорость u_{21} в случае, если частицы движутся в противоположных направлениях.

2.173. В лабораторной системе отсчета удаляются друг от друга две частицы с одинаковыми по модулю скоростями. Их относительная скорость v в той же системе отсчета равна $0,5 c$. Определить скорости частиц.

2.174. Ион, вылетев из ускорителя, испустил фотон в направлении своего движения. Определить скорость фотона относительно ускорителя, если скорость v иона относительно ускорителя равна $0,8 c$.

2.175. Ускоритель сообщил радиоактивному ядру скорость $v_1 = 0,4 c$. В момент вылета из ускорителя ядро выбросило в направлении своего движения β -частицу со скоростью $v_2 = 0,75 c$ относительно ускорителя. Найти скорость u_{21} частицы относительно ядра.

- 2.176. Два ускорителя выбрасывают навстречу друг другу частицы со скоростями $|v| = 0,9 c$. Определить относительную скорость u_{21} сближения частиц в системе отсчета, движущейся вместе с одной из частиц.
- 2.177. Космический корабль удаляется от Земли с относительной скоростью $v_1 = 0,8 c$, а затем с него стартует ракета (в направлении от Земли) со скоростью $v_2 = 0,8 c$ относительно корабля. Определить скорость u ракеты относительно Земли.
- 2.178. Две ракеты движутся навстречу друг другу относительно неподвижного наблюдателя с одинаковой скоростью, равной $0,5 c$. Определить скорость сближения ракет, исходя из закона сложения скоростей в специальной теории относительности.
- 2.179. Ионизованный атом, вылетев из ускорителя со скоростью $0,8 c$, испустил фотон в направлении своего движения. Определить скорость фотона относительно ускорителя.
- 2.180. Релятивистская частица движется в системе K со скоростью u под углом θ к оси x . Определить соответствующий угол в системе K' , движущейся со скоростью v относительно системы K в положительном направлении оси x , если оси x и x' обеих систем совпадают.
- 2.181. Воспользовавшись тем, что интервал является инвариантной величиной по отношению к преобразованиям координат, определить расстояние, которое пролетел π -мезон с момента рождения до распада, если время его жизни в этой системе отсчета $\Delta t = 4,4$ мкс, а собственное время жизни $\Delta t_0 = 2,2$ мкс.
- 2.182. Два тела движутся навстречу друг другу со скоростью $2,0 \cdot 10^5$ км/с относительно неподвижного наблюдателя. На сколько отличаются скорости их движения относительно друг друга, вычисленные по классической и релятивистской формулам сложения скоростей?
- 2.183. Два электрона движутся вдоль одной прямой со скоростями $0,9 c$ и $0,8 c$ относительно неподвижного наблюдателя. Какова относительная скорость электронов при их движении в одном направлении?
- 2.184. Два электрона движутся вдоль одной прямой со скоростями $0,9 c$ и $0,8 c$ относительно неподвижного наблюдателя. Какова относительная скорость электронов при их движении в противоположных направлениях?
- 2.185. Самолет движется со скоростью v навстречу неподвижному источнику света. С какой скоростью u сближается самолет с фотонами, испускаемыми источником?

2.186. С какой скоростью сближаются два фотона, каждый из которых относительно неподвижного наблюдателя движется со скоростью c ?

Тема 7. Релятивистская масса и релятивистский импульс

2.187. Частица движется со скоростью $v = 0,5 c$. Во сколько раз релятивистская масса частицы больше массы покоя?

2.188. С какой скоростью v движется частица, если ее релятивистская масса в три раза больше массы покоя?

2.189. Отношение заряда движущегося электрона к его массе, определенное из опыта, равно $0,88 \cdot 10^{11}$ Кл/кг. Определить релятивистскую массу m электрона и его скорость v .

2.190. На сколько процентов релятивистская масса частицы больше массы покоя при скорости $v = 30$ Мм/с?

2.191. Показать, что выражение релятивистского импульса переходит в соответствующее выражение импульса в классической механике при $v \ll c$.

2.192. Электрон движется со скоростью $v = 0,6 c$. Определить релятивистский импульс p электрона.

2.193. Импульс p релятивистской частицы равен $m_0 c$ (m_0 — масса покоя). Определить скорость v частицы (в долях скорости света).

2.194. В лабораторной системе отсчета находятся две частицы. Одна частица с массой покоя m_0 движется со скоростью $v = 0,6c$, другая с массой покоя $2m_0$ покоится. Определить скорость V_c центра масс системы частиц.

2.195. Частица движется со скоростью $v = 0,8 c$. Определить отношение массы релятивистской частицы к ее массе покоя.

2.196. Определить, на сколько процентов масса релятивистской элементарной частицы, вылетающей из ускорителя со скоростью $v = 0,75 c$, больше ее массы покоя.

2.197. Определить скорость движения релятивистской частицы, если ее масса в два раза больше массы покоя.

- 2.198. Определить релятивистский импульс протона, если скорость его движения $v = 0,8 c$.
- 2.199. Определить скорость, при которой релятивистский импульс частицы превышает ее ньютоновский импульс в $n = 3$ раза.
- 2.200. Частица движется со скоростью $3/4 c$ относительно неподвижного наблюдателя. Во сколько раз масса этой частицы больше ее массы покоя?
- 2.201. Тело с массой покоя $1,00$ кг движется со скоростью $2,00 \cdot 10^5$ км/с. Определить массу этого тела для неподвижного наблюдателя.
- 2.202. С какой скоростью движется тело, масса которого с точки зрения неподвижного наблюдателя равна 4 кг, если масса покоя этого тела $2,4$ кг?
- 2.203. Каким импульсом обладает электрон, движущийся со скоростью $4/5 c$? Масса покоя электрона равна $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.
- 2.204. Определить импульс протона, масса которого равна массе покоя α -частицы. Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти протон, чтобы приобрести этот импульс?

Тема 8. Взаимосвязь массы и энергии

- 2.205. Вычислить энергию покоя электрона. Ответ выразить в джоулях и мегаэлектрон-вольтах.
- 2.206. Вычислить энергию покоя протона. Ответ выразить в джоулях и мегаэлектрон-вольтах.
- 2.207. Вычислить энергию покоя α -частицы. Ответ выразить в джоулях и мегаэлектрон-вольтах.
- 2.208. Известно, что объем воды в океане равен $1,37 \cdot 10^9$ км³. Определить, на сколько возрастет масса воды в океане, если температура воды повысится на $\Delta t = 1^\circ\text{C}$. Плотность ρ воды в океане принять равной $1,03 \cdot 10^3$ кг/м³.
- 2.209. Солнечная постоянная S (плотность потока энергии электромагнитного излучения Солнца на расстоянии, равном среднему расстоянию от Земли до Солнца) равна $1,4$ кВт/м². 1. Определить массу, которую теряет Солнце в течение одного года. 2. На сколько изменится масса воды в океане за один год, если предположить, что поглощается 50 %

падающей на поверхность океана энергии излучения? При расчетах принять площадь S поверхности океана равной $3,6 \cdot 10^8 \text{ км}^2$.

2.210. Какому изменению массы Δm соответствует изменение энергии на $\Delta W = 4,19 \text{ Дж}$?

2.211. Найти изменение энергии ΔW , соответствующее изменению массы на $\Delta m = 1 \text{ а. е. м.}$

2.212. Найти изменение энергии ΔW , соответствующее изменению массы $\Delta m = m_e$.

2.213. Найти изменение массы Δm_m , происходящее при образовании $\nu = 1$ моль воды, если реакция образования воды такова: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + 5,75 \cdot 10^5 \text{ Дж}$.

2.214. При делении ядра урана ${}_{92}^{235}\text{U}$ освобождается энергия $W = 200 \text{ МэВ}$. Найти изменение массы Δm_m при делении $\nu = 1$ моль урана.

2.215. Солнце излучает поток энергии $P = 3,9 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$. За какое время τ масса Солнца уменьшится и в 2 раза? Излучение Солнца считать постоянным.

2.216. Определить энергию, которую необходимо затратить, чтобы разделить ядро дейтрона на протон и нейтрон. Массу ядра дейтрона принять равной $3,343 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$. Ответ выразить в электрон-вольтах.

2.217. Определить энергию связи ядра ${}_{7}^{14}\text{N}$. Принять массу ядра азота равной $2,325 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$. Ответ выразить в электронвольтах.

2.218. Какая энергия выделилась бы при полном превращении $1,00 \text{ г}$ вещества в электромагнитное поле (переход материи из одного вида в другой)?

2.219. Какому изменению массы соответствует энергия, вырабатываемая за 1 ч электростанцией мощностью $2,5 \cdot 10^3 \text{ МВт}$?

2.220. На единицу площади верхней граничной поверхности земной атмосферы, расположенной перпендикулярно к солнечным лучам, солнечное излучение приносит в единицу времени $1,37 \cdot 10^3 \text{ Дж}$ энергии. Определить энергию, излучаемую Солнцем в единицу времени и массу, теряемую Солнцем в единицу времени. Расстояние R от Солнца до Земли принять равным $1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$.

Тема 9. Кинетическая энергия релятивистской частицы

2.221. Кинетическая энергия T электрона равна 10 МэВ. Во сколько раз его релятивистская масса больше массы покоя?

2.222. Кинетическая энергия T электрона равна 10 МэВ. Во сколько раз его релятивистская масса больше релятивистской массы протона.

2.223. Во сколько раз релятивистская масса протона больше релятивистской массы электрона, если обе частицы имеют одинаковую кинетическую энергию $T = 1$ ГэВ?

2.224. Электрон летит со скоростью $v = 0,8c$. Определить кинетическую энергию T электрона (в мегаэлектрон-вольтах).

2.225. При какой скорости v кинетическая энергия любой частицы вещества равна ее энергии покоя?

2.226. Определить скорость v электрона, если его кинетическая энергия равна: 1) $T = 4$ МэВ; 2) $T = 1$ кэВ.

2.227. Найти скорость v протона, если его кинетическая энергия равна: 1) $T = 1$ МэВ; 2) $T = 2$ ГэВ.

2.228. Какая относительная ошибка будет допущена при вычислении кинетической энергии релятивистской частицы, если вместо релятивистского выражения $T = (m - m_0)c^2$ воспользоваться классическим $T = \frac{m_0 v^2}{2}$?

Вычисления выполнить для случая $v = 0,2c$.

2.229. Какая относительная ошибка будет допущена при вычислении кинетической энергии релятивистской частицы, если вместо релятивистского выражения $T = (m - m_0)c^2$ воспользоваться классическим $T = \frac{m_0 v^2}{2}$?

Вычисления выполнить для случая $v = 0,8c$.

2.230. Две релятивистские частицы движутся навстречу друг другу с одинаковыми (в лабораторной системе отсчета) кинетическими энергиями, равными их энергии покоя. Определить: 1) скорости частиц в лабораторной системе отсчета; 2) относительную скорость сближения частиц (в единицах c); 3) кинетическую энергию (в единицах $m_0 c^2$) одной из частиц в системе отсчета, связанной с другой частицей.

- 2.231. Какую ускоряющую разность потенциалов U должен пройти электрон, чтобы его скорость составила 95 % скорости света?
- 2.232. Найти скорость v мезона, если его полная энергия в 10 раз больше энергии покоя.
- 2.233. Какую долю β скорости света должна составлять скорость частицы, чтобы ее кинетическая энергия была равна ее энергии покоя?
- 2.234. Синхрофазотрон дает пучок протонов с кинетической энергией $W_k = 10$ ГэВ. Какую долю β скорости света составляет скорость протонов в этом пучке?
- 2.235. Бетатрон дает пучок электронов с кинетической энергией $W_k = 0,67$ МэВ. Какую долю β скорости света составляет скорость электронов в этом пучке?
- 2.236. Полная энергия релятивистской частицы в 8 раз превышает ее энергию покоя. Определить скорость этой частицы.
- 2.237. Кинетическая энергия частицы оказалась равной ее энергии покоя. Определить скорость частицы.
- 2.238. Какой кинетической энергией обладает ранее покоившееся тело, если в результате ускорения его масса увеличилась на $2m_0$?
- 2.239. Какой полной энергией обладает ранее покоившееся тело, если в результате ускорения его масса увеличилась на $2m_0$?
- 2.240. При какой скорости кинетическая энергия частицы равна ее энергии покоя?
- 2.241. Ускоритель разгоняет протоны до кинетической энергии $70 \cdot 10^9$ эВ. С какой скоростью движутся протоны? Во сколько раз увеличивается их масса?
- 2.242. Масса движущегося электрона в 11 раз больше его массы покоя. Определить кинетическую энергию электрона и его импульс.
- 2.243. Какую ускоряющую электрическую разность потенциалов должен пройти первоначально покоившийся электрон, чтобы его кинетическая энергия стала в 10 раз больше его энергии покоя?
- 2.244. Какую электрическую разность потенциалов должен пройти первоначально покоившийся протон, чтобы его полная энергия стала в 11 раз больше энергии покоя? Во сколько раз возрастет при этом его масса?

2.245. Протон и α -частица, двигаясь из состояния покоя, проходят одинаковую ускоряющую электрическую разность потенциалов U , после чего масса протона составляет одну треть массы α -частицы. Найти эту разность потенциалов.

Тема 10. Связь энергии релятивистской частицы с её импульсом

2.246. Определить импульс p частицы (в единицах m_0c^2), если ее кинетическая энергия равна энергии покоя.

2.247. Определить кинетическую энергию T релятивистской частицы (в единицах m_0c^2), если ее импульс $p = m_0c$.

2.248. Кинетическая энергия релятивистской частицы равна ее энергии покоя. Во сколько раз возрастет импульс частицы, если ее кинетическая энергия увеличится в $n = 4$ раза?

2.249. Импульс p релятивистской частицы равен m_0c^2 . Под действием внешней силы импульс частицы увеличился в два раза. Во сколько раз возрастет при этом кинетическая энергия частицы?

2.250. Импульс p релятивистской частицы равен m_0c^2 . Под действием внешней силы импульс частицы увеличился в два раза. Во сколько раз возрастет при этом полная энергия частицы?

2.251. При неупругом столкновении частицы, обладающей импульсом $p = m_0c$, и такой же покоящейся частицы образуется составная частица. Определить кинетическую энергию частицы до столкновения и кинетическую энергию составной частицы (в единицах m_0c^2).

2.252. Частица с кинетической энергией $T = m_0c^2$ налетает на другую такую же частицу, которая в лабораторной системе отсчета покоится. Найти суммарную кинетическую энергию T' частиц в системе отсчета, связанной с центром инерции системы частиц.

2.253. Определить релятивистский импульс p и кинетическую энергию T протона, движущегося со скоростью $v = 0,75 c$.

2.254. Определить релятивистский импульс электрона, кинетическая энергия которого $T = 1$ ГэВ.

2.255. Определить, какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти протон, чтобы его скорость составила 90% скорости света.

2.256. Определить, какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы его продольные размеры уменьшились в два раза.

2.257. Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы увеличить скорость частицы с массой покоя m_0 от $0,5 c$ до $0,7 c$.

2.258. Каким импульсом обладает ранее покоившееся тело, если в результате ускорения его масса увеличилась на $2m_0$?