

Джирл Уокер



# Новый физический ФЕЙЕРВЕРК

Сборник качественных задач по физике

2-е издание, с новыми заданиями  
и подробными ответами

Купить книгу на сайте [kniga.biz.ua](http://kniga.biz.ua) >>>

# Оглавление

От автора	10	1.31	Осадные орудия	32	1.65	Игрушка-пружинка слинки	54	
Предисловие	12	1.32	Люди — пушечные ядра	32	1.66	Наклонная башня	54	
<b>Глава 1</b>		1.33	Броски мяча в баскетбольную корзину	33	1.67	Падающая пизанская башня	56	
Механика твердых тел		1.34	<b>Короткая история.</b> Рекордные штрафные броски	34	1.68	Эффект домино	56	
<i>Между каплями дождя</i>	13	1.35	Зависание в баскетболе и балете	34	1.69	Падающие трубы, карандаши и деревья	57	
1.1	Бежать или идти под дождем?	13	1.36	Секреты игры в гольф	35	1.70	Почему ломаются заточенные карандашные грифели	58
1.2	Колонны автомобилей и транспортный коллапс	13	1.37	<b>Короткая история.</b> «Занавес смерти» при падении метеорита	35	1.71	Обрушение моста	59
1.3	«Волны трафика» на автостраде	14	1.38	Прыжки в длину и высоту	36	1.72	Крушение поезда	60
1.4	Минимальная дистанция между машинами при буксировке	15	1.39	Мексиканские прыгающие бобы	38	1.73	Удары в боулинге	60
1.5	Проезд на желтый свет	15	1.40	Кувырки жуков-щелкунов и атаки раков-богомолов	38	1.74	Удары в американском и других бильярдах	61
1.6	Закручивание автомобиля при экстренном торможении	15	1.41	<b>Короткая история.</b> Рекордный вес взят	39	1.75	Мини-гольф	62
1.7	Скользить или не скользить	16	1.42	Соударения в цепочке шаров и игрушка «мятник Ньютона»	39	1.76	Фокусы с мячиком-попрыгунчиком	63
1.8	Торможение юзом	17	1.43	Падение нескольких мячей	41	1.77	<b>Короткая история.</b> Спорный мяч	64
1.9	<b>Короткая история.</b> Рекордные тормозные пути	18	1.44	<b>Короткая история.</b> Разорительный фокус	42	1.78	Теннис	64
1.10	Почему дятлам и толсторогим баранам не грозит сотрясение мозга	19	1.45	Карате	42	1.79	Велосипеды и мотоциклы	65
1.11	<b>Короткая история.</b> Рекордные ускорения	19	1.46	Бокс	43	1.80	Длинные прыжки на мотоцикле	66
1.12	Лобовые столкновения автомобилей	20	1.47	Падение галерей	44	1.81	Скейтборды	66
1.13	<b>Короткая история.</b> Представление с участием локомотивов	20	1.48	Обрушение башен-близнецов	44	1.82	Метание подков	67
1.14	Удар сзади и травма шейных позвонков	20	1.49	Падения с высоты со счастливым концом	45	1.83	Кручение хула-хупа и лассо	68
1.15	Повороты на гоночном автомобиле	21	1.50	Спасительный прыжок с парашютом	45	1.84	Игрушка йо-йо	68
1.16	Дорожки для спринта	21	1.51	Падение кошек с высоты	46	1.85	Раскручивание йо-йо	69
1.17	Иллюзия задирания носа самолета при взлете	21	1.52	Прыжки с тарзанкой и «банджи-джампинг»	46	1.86	На автомобиле со сверхзвуковой скоростью	70
1.18	<b>Короткая история.</b> Рейс 143 «Эйр Канада»	22	1.53	Постараться выжить в падающем лифте	47	1.87	<b>Короткая история.</b> Взрыв на центрифуге	71
1.19	Страх и ужас в парке аттракционов	23	1.54	<b>Короткая история.</b> Как бомбардировщик протаранил Эмпайр-стейт-билдинг	47	1.88	Как выбраться из перевернутого каяка	71
1.20	<b>Короткая история.</b> Цирковые трюки «чертова петля»	24	1.55	Падения в борьбе, приземление при парашютировании	48	1.89	Кёрлинг	71
1.21	Как поймать высокий мяч в бейсболе?	25	1.56	Ложе факира	48	1.90	Канатоходцы	72
1.22	<b>Короткая история.</b> Мячи, сброшенные с высоты	26	1.57	Висящие ложки	49	1.91	Как удержаться на спине быка	72
1.23	Удары в бейсболе	27	1.58	Следы от камней	49	1.92	Проблемы с туалетной бумагой	73
1.24	Разрешенные передачи в регби	28	1.59	Узлы	49	1.93	Скачущие камни и бомбы	73
1.25	Жонглирование	29	1.60	Лазанье по скалам	50	1.94	Вращение на льду	74
1.26	Прыжки с шестом	29	1.61	Как бегают по скалам снежные бараны	52	1.95	Вращение книги	75
1.27	Атлатль и жабий язык	29	1.62	Перемещение истуканов по острову Пасхи	52	1.96	Падающая кошка, кувырки космонавтов и акробатические прыжки в воду с вышки	75
1.28	Праща	30	1.63	Древние сооружения Стоунхенджа	52	1.97	Четверное сальто	77
1.29	Томагавки	31	1.64	Как поднимали каменные блоки при строительстве египетских пирамид	53	1.98	Падающий бутерброд	77
1.30	Болас	31				1.99	Балет	78
						1.100	Повороты на лыжах	78
						1.101	Как проползти по скользкому льду	80
						1.102	<b>Короткая история.</b> Последовательность вращений имеет значение	80
						1.103	Волчки тоже бывают разные	80
						1.104	<b>Короткая история.</b> Непослушный чемодан	82
						1.105	Китайский волчок	82

- 1.106 Вращение яйца 82
- 1.107 Диаболо 82
- 1.108 Кельтские камни, или «кельты» 83
- 1.109 Крутящиеся монетки и бутылки 84
- 1.110 Дзюдо, айкидо и олимпийская борьба 84
- 1.111 Вращение пули и длинные пасы в американском футболе 85
- 1.112 Раскачивание детских качелей 86
- 1.113 Гигантское кадило 86
- 1.114 Маятник в колодце 87
- 1.115 Перевернутый маятник и одноколесный велосипед 87
- 1.116 Ношение тяжестей на голове 88
- 1.117 Ношение тяжестей на гибких шестах 88
- 1.118 Связанные маятники 89
- 1.119 Пружинный маятник 90
- 1.120 Молчаливый колокол 91
- 1.121 Эффект спагетти 91
- 1.122 Паук и муха 92
- 1.123 Колебания пешеходного моста и пола танцзала 93
- 1.124 Балансирующие конструкции и камни 93
- 1.125 Как затонула ядерная подводная лодка «Курск» 94
- 1.126 Как песчаный скорпион обнаруживает жертву 95
- 1.127 Снежные волны 96
- 1.128 Волна на футбольном стадионе 96
- 1.129 Бронезилет 96
- 1.130 Парадокс лучника 97
- 1.131 Колеблющиеся растения 97
- 1.132 Колебания высоких зданий 97
- 1.133 Прыжки в воду с пружинящего трамплина 98
- 1.134 Метание блесны 98
- 1.135 Битва за Фолклендские острова и Большая Берта 99
- 1.136 Джек и бобовый стебель, дотянувшийся до космоса 100
- 1.137 Весенняя лихорадка и яйца, стоящие вертикально 100
- 1.138 Лунное безумие 101
- 1.139 Притягивающий холм 101
- 1.140 Падение через центр Земли 102
- 1.141 Растяжение пластиковых пакетов 103
- 1.142 Мостовая гигантов и колонны из крахмала 103
- 1.143 Ломающиеся ногти 104
- 1.144 Смятая в шарик бумага 104
- 1.145 Примеры расширения при взрыве 104
- 1.146 Почему висящая на стене картина перекашивается? 105
- 1.147 Фокус с двумя пружинами 105
- 1.148 Устойчивость банки с лимонадом 105
- 1.149 Маятник Уилберфорса 106
- 1.150 Подготовка к гонкам драг-рейсинг 106
- 1.151 Повернуть или остановиться 106
- 1.152 Проскочить мимо автобуса 107
- 1.153 Давление в липкой ленте 107
- 1.154 Бобслейная трасса с поворотами 108
- 1.155 Кольцо на колеблющемся стержне 108
- 1.156 Дом Маленького принца 108
- 1.157 На парашюте с тыквой 109
- 1.158 Как вытащить бьющуюся рыбу 109
- 1.159 Вращающееся кольцо 109
- 1.160 Пропеллер на палочке с вырезами 110
- 1.161 Толкание ядра и бросание молота 110
- 1.162 Прыжки при спуске с горы на лыжах 111
- 1.163 Как вытащить скатерть из-под тарелок 111
- 1.164 **Короткая история.** Перетаскивание вагонов зубами 111
- 1.165 Подпрыгивающий стул 111
- 1.166 Как поднять человека при помощи пальцев 111
- 1.167 Ракеты и санки 112
- 1.168 **Короткая история.** С Земли на Венеру 113
- 1.169 Выбор молотка 113
- 1.170 Клапан скороварки 113
- 1.171 Скольжение линейки по пальцам 113
- 1.172 **Короткая история.** Неудавшийся рекорд по перетягиванию каната 114
- 1.173 Стрельба вдоль склона 114
- 1.174 Как трогаться с места на скользкой дороге 114
- 1.175 Балансировка колес 114
- 1.176 Игра «Попади в бутылочку» 115
- 1.177 Разобьется или не разобьется бокал? 115
- 1.178 Почему сломается сверло? 116
- 1.179 Качающиеся часы 116
- 1.180 **Короткая история.** Мост «Золотые Ворота»: испытание на прочность 116
- 1.181 Рыскание железнодорожных вагонов 116
- 1.182 Колебания антенны автомобиля 117
- 1.183 Корабли и успокоительные цистерны 117
- 1.184 Неровности на дорогах 118
- 1.185 Почему нам видна только одна сторона Луны? 118
- 1.186 Искусственные спутники 118
- 1.187 Как сопротивление воздуха ускоряет спутник 118
- 1.188 Полет к Луне «по восьмерке» 119
- 1.189 Кто сильнее притягивает Луну — Земля или Солнце? 119
- 1.190 Гравитационная праща 119
- 1.191 Составление топографической карты Индии 119
- 1.192 Бритые двойным лезвием 119
- 1.193 Размыв берегов рек 120

## Глава 2

Механика жидкостей и газов

*Гонки по потолку, плавание в сиропе* 121

- 2.1 Гоночный автомобиль на потолке 121
- 2.2 Сила тяги 122
- 2.3 Аэродинамика несущихся мимо поездов 122
- 2.4 Обрушение старого моста через Такома-Нэрроуз 123
- 2.5 Аэродинамика строений 123
- 2.6 Воздушные змеи 124
- 2.7 Прыжки на лыжах с трамплина 125
- 2.8 Скорость горнолыжника 125
- 2.9 Бумеранги 126
- 2.10 Бросаем карты 126
- 2.11 Вращающиеся семена 127
- 2.12 Летящие змеи 127
- 2.13 Аэродинамическое сопротивление при полете теннисных мячей 128
- 2.14 Футбольный мяч, огибающий стенку 128
- 2.15 Аэродинамика мячика для игры в гольф 129
- 2.16 Аэродинамика бейсбола 130
- 2.17 Аэродинамика крикета 130
- 2.18 Стая птиц, летящая клином 131
- 2.19 С какой скоростью можно плавать в сиропе? 131
- 2.20 Конденсационные следы 132
- 2.21 Почему втягивается занавес душевой кабинки 132
- 2.22 Луговые собачки и гигантские муравейники 133
- 2.23 Вихри в ванной 133
- 2.24 Вихри в чашечке кофе 134
- 2.25 Скопление чайнок в чае, кружение оливки в мартини 135
- 2.26 Извилистые (меандрические) реки 135
- 2.27 Птица, вертящаяся в воде 136
- 2.28 Вода, поднимающаяся по вращающемуся яйцу 136
- 2.29 Вода, образующая круг в раковине 136
- 2.30 Уровень воды в канале 137
- 2.31 Солитоны 137
- 2.32 Приливные волны 138
- 2.33 Приливы и отливы 138
- 2.34 Приливы в заливе Фанди 139
- 2.35 Мертвая вода 139

- 2.36 Торнадо 140
- 2.37 **Короткая история.** Как выглядит торнадо изнутри 141
- 2.38 Водяные смерчи и облачные рукава 141
- 2.39 Пыльные вихри, вихри в тумане, туманные вихри 141
- 2.40 Круговые вихри 142
- 2.41 Сифоны и туалеты 143
- 2.42 Бегающие по воде шлемоносные василиски 144
- 2.43 Свинцовый брусок, плавающий в лодке 144
- 2.44 Плавающие бруски и открытые контейнеры 145
- 2.45 Дыра в дамбе и корабль в сухом плавучем доке 145
- 2.46 Обмороки летчиков при перегрузках 146
- 2.47 Кровообращение змей, жирафов и высоких динозавров 146
- 2.48 Плавали ли зауроподы? 147
- 2.49 Гастролиты у динозавров и крокодилов 147
- 2.50 Эффект Коанда 147
- 2.51 Эффект чайника 148
- 2.52 Всплытие после глубоководного погружения 149
- 2.53 Как люди и слоны плавают под водой 149
- 2.54 Глубоководное погружение и как спастись из подводной лодки 150
- 2.55 Трагедия на озере Ниос 151
- 2.56 **Короткая история.** Прыжок через дом и планирование в шезлонге 151
- 2.57 Течение стекла в окне средневекового собора 152
- 2.58 Странные вязкие жидкости 153
- 2.59 Суп, вращающийся в обратную сторону 154
- 2.60 Скачущая струйка жидкости 154
- 2.61 Жидкость, взбирающаяся по стержню 154
- 2.62 Бухта жидкого каната 155
- 2.63 Волны на воде 155
- 2.64 Гигантские одиночные волны и волны-убийцы 155
- 2.65 Волны, разворачивающиеся к берегу 156
- 2.66 Волны, прошедшие через сужение 156
- 2.67 Сейши и разлитая вода 157
- 2.68 Кильватерный след от уток и авианосцев 158
- 2.69 Серфинг 159
- 2.70 Движение морских свинок и дельфинов 159
- 2.71 Краевые волны 160
- 2.72 Плажевые фестоны 161
- 2.73 Масло и волны 161
- 2.74 Парящие капли 161
- 2.75 Разбрызгивающиеся капли 162
- 2.76 Пузырьки в газированной воде, пиве и шампанском 164
- 2.77 Мыльные пузыри и пивная пена 165
- 2.78 Лопающиеся пузырьки 167
- 2.79 Киты и сети из пузырей 167
- 2.80 Водомерки 167
- 2.81 Бусинки на прутике и на нити из слюны 168
- 2.82 Сбор дождевой воды ящерицами в пустыне 169
- 2.83 Как кормятся кулики 169
- 2.84 Капли и жидкие пленки на твердой поверхности 170
- 2.85 Притягивающиеся кукурузные хлопья 171
- 2.86 Замки из песка 171
- 2.87 Внешний вид плохого кофе 172
- 2.88 «Слезы» вина и другие игры жидких поверхностей 172
- 2.89 Узор на ликере «Тиа Мария» 173
- 2.90 Узоры на кофе и других жидкостях 173
- 2.91 Узоры на пятнах от кофе и кофейной гуще 175
- 2.92 Фигуры дыхания 175
- 2.93 Эффект лотоса 176
- 2.94 Тля и жидкий мрамор 177
- 2.95 Кисти, мокрые волосы и печенье к чаю 177
- 2.96 Картошка фри 177
- 2.97 Как утки выходят из воды сухими или почему «как с гуся вода» 178
- 2.98 Половинка картофелины, птичий помет и автомобиль 178
- 2.99 Катапульта для грибных спор 179
- 2.100 Волны на льющейся струйке воды 179
- 2.101 Водяные колокола, пленки и цепочки 180
- 2.102 По мокрому пляжу и зыбучему песку 180
- 2.103 Разрушение зданий и шоссе 181
- 2.104 **Короткая история.** Зыбучее зерно 182
- 2.105 Людской поток, и как избежать паники 182
- 2.106 Кучка песка и самоорганизующийся поток 183
- 2.107 Течение в песочных часах и элеваторах 184
- 2.108 Эффект бразильского ореха и колебания порошка 185
- 2.109 Лавинный шар 186
- 2.110 Песчаная рябь и движение 186
- 2.111 Песчаные дюны 187
- 2.112 Ярданги и выветривание песка 188
- 2.113 Снегозащитные сооружения и золотые отложения 189
- 2.114 Снежные лавины 189
- 2.115 Оползни длинного выхода 190
- 2.116 Камнепады 190
- 2.117 Развеваяющиеся флаги и ленты 191
- 2.118 Развеваяющиеся фонтаны и грохочущие водопады 191
- 2.119 Пульсирующие фонтаны 192
- 2.120 Разливаем жидкости: перевернутый стакан и ярд для эля 192
- 2.121 Капля за каплей 193
- 2.122 Шоу мыльных пузырей 194
- 2.123 Траектории пузырей 194
- 2.124 Антипузырьки 195
- 2.125 Рис на палочке 195
- 2.126 Метание диска 196
- 2.127 Метание копья 196
- 2.128 Две сближающиеся лодки 197
- 2.129 Аэродинамика кабелей и проводов 197
- 2.130 Скимборд — доска для катания на мелкой воде 197
- 2.131 Подъемная сила при повороте за угол 198
- 2.132 Отражение волн песчаными отмелями 198
- 2.133 Дождь и волны 199
- 2.134 Соляной маятник 199
- 2.135 Солевые пальцы и солевой фонтан 200
- 2.136 Как жидкость поднимается по стволам деревьев 201
- 2.137 Ветровые полосы на воде 201
- 2.138 Улицы облаков и полосы лесных пожаров 201
- 2.139 Упаковка M&M's 202
- 2.140 Груда яблок 202
- 2.141 Узоры из порошка 202
- 2.142 Гидравлический осциллятор 203
- 2.143 Масляные капли,двигающиеся в глицерине 203
- 2.144 Шар в струе воздуха 204
- 2.145 Корабль Флеттнера 204
- 2.146 Гибралтарский пролив, Мессинский пролив и Сицилийский пролив 204
- 2.147 Разбрызгивание гранул 205
- 2.148 Небольшая морщинка на текущей воде 205
- 2.149 Извивающиеся тонкие струйки 205
- 2.150 Сбритые волоски и лодка на камфаре 206
- 2.151 Масляные пятна на дорогах 207
- 2.152 Капли воды и узоры на глицерине 207
- 2.153 Лучики оливкового масла на покрытой тальком воде 207
- 2.154 Осциллятор из куриного жира 208

### Глава 3

Акустика

*Шорохи и звуки в ночной тишине* 209

- 3.1 Завывание ветра 209
- 3.2 Гудение телефонных проводов и шелест сосновых иголок 209
- 3.3 Свист и свистки 210
- 3.4 Речь и пение 211
- 3.5 Как гелий меняет голос 212
- 3.6 Горловое пение 212
- 3.7 Храп 213
- 3.8 Мурлыканье и рычание 213
- 3.9 **Короткая история.** Рев динозавра-паразавролофа 214
- 3.10 Рычащий тигр, трубящий слон 214
- 3.11 Кваканье лягушки-быка 214
- 3.12 Сверчки и лангусты 215
- 3.13 Как лягушка исполняет мелодию на дереве, а сверчок — в норке 215
- 3.14 Атаки австралийских цикад 215
- 3.15 Голоса пингвинов 216
- 3.16 Щелчки китов 216
- 3.17 Отраженный тон 216
- 3.18 Звуки, распространяющиеся на большие расстояния 217
- 3.19 Акустическая тень 218
- 3.20 Прослушивание советских подлодок 219
- 3.21 Мегафон и сирена 219
- 3.22 Где можно услышать шепот 220
- 3.23 Эффект Доплера 220
- 3.24 Как насекомоядные летучие мыши находят насекомых 221
- 3.25 Как растительноядные летучие мыши находят цветок 222
- 3.26 Распространение звука под водой 223
- 3.27 Эффект дружеской вечеринки 223
- 3.28 Звук из ушей 224
- 3.29 Почему мы слышим музыку, которой нет 224
- 3.30 Как не оглохнуть, слушая громкую музыку 225
- 3.31 Усиление звука с помощью шума 226
- 3.32 Стетоскопы и звуки дыхания 226
- 3.33 Натяжение гитарных струн и растяжение резиновой ленты 226
- 3.34 Игра на скрипке 227
- 3.35 Мерцающее звучание скрипки 228
- 3.36 Морские раковины 228
- 3.37 Диджериду 229
- 3.38 Тряска и гудение силосной башни 229
- 3.39 Поющие гофрированные трубки 230
- 3.40 Музыкальная чашка 230
- 3.41 Резонанс в бутылке 231
- 3.42 Скрип и визг 232
- 3.43 Поющие винные бокалы 232
- 3.44 Можно ли голосом разбить винный бокал 233
- 3.45 Журчание ручейков и шелест дождя 233
- 3.46 Резонанс в вертикальном сосуде 233
- 3.47 Урчание водопроводных труб 234
- 3.48 Хруст в суставах 234
- 3.49 Тоны Короткова 234
- 3.50 Атака раков-убийц 235
- 3.51 Шум закипающей воды 235
- 3.52 Звуки при пережевывании пищи 236
- 3.53 Снэп, Крэкл и Поп 236
- 3.54 Грохот, издаваемый самолетами и пулями 237
- 3.55 Громкие хлопки в железнодорожных тоннелях 238
- 3.56 Гром 238
- 3.57 Бронтиды — таинственные громopodobные звуки 239
- 3.58 Камнепад и лесоповал 240
- 3.59 Щелканье кнута и удар мокрым полотенцем 240
- 3.60 Кашель и чихание 241
- 3.61 Акустика комнат и концертных залов 241
- 3.62 Галереи шепотов в различных сооружениях 242
- 3.63 Галерея шепотов в соборе Святого Павла 242
- 3.64 Эхо от стен, углов и лесов 243
- 3.65 «Музыкальное» эхо при отражении от заборов и лестниц 244
- 3.66 **Короткая история.** Звуковые эффекты в древних сооружениях 244
- 3.67 Пение в душе 245
- 3.68 Шумный сосед 245
- 3.69 Поющие и скрипящие пески 245
- 3.70 Потрескивающий лед и шипящие айсберги 246
- 3.71 Прохождение звука через снег 246
- 3.72 Звук шагов по снегу 246
- 3.73 «Можно ли услышать форму барабана?» 247
- 3.74 Инфразвук 247
- 3.75 Шелест на пшеничных полях 248
- 3.76 Щелчки натягиваемой ткани 248
- 3.77 Пение водоотводных труб 248
- 3.78 Свисты игрушки-пружинки-слинки 249
- 3.79 Ружейные выстрелы в районах вечной мерзлоты 249
- 3.80 Шум полярного сияния и сгорающих метеоритов 250
- 3.81 Австралийская гуделка 250

### Глава 4

Термодинамика

*Ночью охота идет за теплым* 251

- 4.1 Мертвые гремучие змеи 251
- 4.2 Жуки, сигнализирующие о пожаре 251
- 4.3 Пчелы, убивающие шершней 251
- 4.4 Скучивание животных 252
- 4.5 Выход в космос без скафандра 252
- 4.6 Капли на горячей сковородке, пальцы в расплавленном свинце 252
- 4.7 **Короткая история.** Ужасный глоток 254
- 4.8 Хождение по раскаленным углям 254
- 4.9 **Короткая история.** Рассказы об огнехождении 255
- 4.10 Замерзшая и переохлажденная вода 256
- 4.11 Как правильно есть морской лед 256
- 4.12 Скорость остывания горячей и теплой воды 257
- 4.13 Небо, замораживающее воду 258
- 4.14 Как спасти заготовленные на зиму овощи с помощью бочки с водой 258
- 4.15 Чтобы фруктовый сад не вымерз, его нужно полить 258
- 4.16 Что будет, если в сильный мороз плеснуть вверх горячей водой? 259
- 4.17 Сосульки 259
- 4.18 Ледяной затор на крыше 260
- 4.19 Иней и наледь на проводах 260
- 4.20 Ледяные шипы и другие образования из льда 261
- 4.21 Мутные кубики льда 262
- 4.22 Фигуры внутри тающего льда 262
- 4.23 Замерзание прудов и озер 263
- 4.24 Как замерзают газированные напитки 263
- 4.25 Лопачущиеся трубы 264
- 4.26 Что будет, если дотронуться или лизнуть холодную трубу? 265
- 4.27 Ухабы зимой и пинго в зонах вечной мерзлоты 265
- 4.28 Мерзлотные полигоны в Арктике 266
- 4.29 Камни, растущие в саду, и узоры на земле 266
- 4.30 Борозды от валунов 267
- 4.31 **Короткая история.** Бомба из дохлой кошки и исчезновение путем замораживания 267
- 4.32 Форма снежинок 268
- 4.33 Катание на лыжах 268
- 4.34 Катание на коньках и игра в снежки 269

- 4.35 Прогулки по льду 269
- 4.36 Иглу 269
- 4.37 Снежные рулоны 270
- 4.38 Снежные лавины 270
- 4.39 Узоры из тающего снега 271
- 4.40 Зачем посыпать солью лед на тротуаре? 271
- 4.41 Домашнее мороженое 271
- 4.42 Пьем горячий кофе, едим горячую пиццу 272
- 4.43 Кипятим воду 273
- 4.44 Как варить яйцо 273
- 4.45 Как готовить в печке или на открытом огне 274
- 4.46 Как готовить на костре 275
- 4.47 Как приготовить пиццу 275
- 4.48 Почему в микроволновке можно разогреть обед? 276
- 4.49 Как жарить кукурузные зерна 277
- 4.50 Как готовить яичницу-болтунью 278
- 4.51 Гейзеры и кофейный перколятор 278
- 4.52 Игрушка «паровая лодочка» 279
- 4.53 Тепловые эффекты и длина 280
- 4.54 Разрушение железнодорожной цистерны 280
- 4.55 Как на веревке сохнет белье 281
- 4.56 Теплое пальто 281
- 4.57 Теплые растения 282
- 4.58 Шерсть белого медведя 282
- 4.59 Черная одежда и черные овцы в пустыне 282
- 4.60 Скорость остывания чашки кофе 283
- 4.61 Холодная вода в пористом глиняном кувшине 283
- 4.62 Пьющая птичка 284
- 4.63 Короткая история. Большие пьющие птицы 285
- 4.64 Тепловая трубка и картофельные колючки 285
- 4.65 Запотевшие зеркала 286
- 4.66 Запотевание стекол очков 286
- 4.67 Как можно запастись водой в пустыне 287
- 4.68 Трещины на грязи 288
- 4.69 Вздувшиеся упаковки в самолете 289
- 4.70 Выдуваем пузыри и надуваем воздушные шары 289
- 4.71 Как печь пироги в горах 290
- 4.72 Шампанское в тоннеле 290
- 4.73 Короткая история. Язык в бутылке 291
- 4.74 Гроза зимой 291
- 4.75 Дым из трубы 292
- 4.76 Дымовые сигналы и грибовидное облако 293
- 4.77 Огонь в камине 294
- 4.78 Пламя свечи 295
- 4.79 Как потушить пожар, заливая его водой 296
- 4.80 Как потушить растительное масло 296
- 4.81 Травяные и лесные пожары 297
- 4.82 Огненный смерч 297
- 4.83 Поддержание нужной температуры в муравейниках и зданиях 298
- 4.84 Почему нагреваются оранжереи и закрытые машины 298
- 4.85 Острова тепла 299
- 4.86 Термодинамика аптечной резинки 299
- 4.87 Фён и шинук 299
- 4.88 Испытание кипящей водой 300
- 4.89 Энергия в теплой комнате 300
- 4.90 Ориентация ледника 300
- 4.91 Игрушечный радиометр 301
- 4.92 Колодцы с водой и буря 301
- 4.93 «Столбы» из насекомых и рачков 301
- Глава 5**  
Электричество и магнетизм  
*Сверкнула молния — жди грома!* 303
- 5.1 Молния 303
- 5.2 Молнии, люди, коровы и овцы 304
- 5.3 Молния, автомобили и самолеты 306
- 5.4 Молния, деревья, башни и земля 306
- 5.5 Четочная и шаровая молния 307
- 5.6 Спрайты 307
- 5.7 Молниеотводы 308
- 5.8 Свитера, детские пластиковые горки и операционные 309
- 5.9 Автомобили, бензонасосы и остановки в пути 310
- 5.10 Короткая история. Искрометная жевательная резинка 311
- 5.11 Чем опасен распыленный в воздухе порошок 311
- 5.12 Чем опасны аэрозольные баллончики 312
- 5.13 Чем опасны брызги воды 312
- 5.14 Свечение лыж 313
- 5.15 Катастрофа дирижабля «Гинденбург» 313
- 5.16 Воспламеняющаяся медицинская каталка 314
- 5.17 Свечение при оттаивании скотча 314
- 5.18 Петрушка, шалфей, розмарин и тимьян 315
- 5.19 Свечение винтергринового масла в темноте 316
- 5.20 Огни землетрясений 317
- 5.21 Огни святого Эльма и свечение в Андах 317
- 5.22 Высоковольтные линии передачи 317
- 5.23 Ток или напряжение: что опаснее для людей? 319
- 5.24 Короткая история. Несчастный случай 320
- 5.25 Использование тока в хирургии 320
- 5.26 Пожары и взрывы при хирургических операциях 320
- 5.27 Лимонная батарея и покалывание в зубе 321
- 5.28 Электрические скаты и угри 322
- 5.29 Как предметы заряжаются во время пыльной, снежной или песчаной бури? 323
- 5.30 Вулканические молнии 323
- 5.31 Заражение бактериями при хирургической операции 324
- 5.32 Пчелы и опыление 325
- 5.33 Короткая история. Огненные муравьи и электрическое оборудование 325
- 5.34 Пластиковая пищевая пленка 326
- 5.35 Муха на потолке, геккон на стене 326
- 5.36 Торт с меренгами (безе) 327
- 5.37 Соус беарнез 327
- 5.38 Магнетит 328
- 5.39 Магнитное поле Земли и археология 328
- 5.40 МРТ 329
- 5.41 Короткая история. Поиск пули в теле президента Гарфилда с помощью магнита 330
- 5.42 Магниты, татуировки и ювелирные украшения для тела 331
- 5.43 Сухие завтраки и коровьи магниты 331
- 5.44 Электрические гитары 331
- 5.45 Усилители электрогитары 332
- 5.46 Северное сияние (аврора) 333
- 5.47 Перебои с электричеством и вспышки на Солнце 333
- 5.48 Левитирующие лягушки 334
- 5.49 Шипение магнита 335
- 5.50 Токи, проходящие через вас на железнодорожной станции 335
- Глава 6**  
Оптика  
*Все кругом, как радуга, цветное* 337
- 6.1 Радуги 337
- 6.2 Странные радуги 339
- 6.3 Искусственные радуги 339
- 6.4 Почему днем небо светлое 340
- 6.5 Разноцветное небо 341
- 6.6 Голубые горы, белые горы, красные облака 342
- 6.7 Предупреждение морякам 342

- 6.8 Закаты и вулканы 342
- 6.9 Кольцо Бишопа 343
- 6.10 Контрастная облачная дуга 343
- 6.11 Цвет неба во время солнечного затмения 343
- 6.12 Небо позеленело — прячься в погреб 344
- 6.13 Почему на закате небо над головой синее 344
- 6.14 Темное пятно в розовом обрамлении, возникающее на закате 345
- 6.15 Яркие и темные лучи на небе 345
- 6.16 Голубая дымка, красная дымка, коричневый туман 346
- 6.17 Огни далекого города 346
- 6.18 Как далеко линия горизонта 346
- 6.19 Цвет неба при сплошной облачности 347
- 6.20 Карты в небе 347
- 6.21 Пошел снег — и посветлело 347
- 6.22 Где кончается луч прожектора 347
- 6.23 **Короткая история.** Ньюгрейндж: луч света в день зимнего солнцестояния 348
- 6.24 Зеленое свечение 348
- 6.25 Изменение формы солнца на закате 349
- 6.26 Красная луна при лунном затмении 349
- 6.27 Коронная вспышка 350
- 6.28 Оазисный мираж 350
- 6.29 Мираж в стене 351
- 6.30 Живущие в воде чудовища, водяные и громадные миражи 351
- 6.31 Призрак в цветах 353
- 6.32 Дрожание и мерцание звезд 353
- 6.33 Теневые полосы 354
- 6.34 22-градусное гало и солнечные собаки 355
- 6.35 Множество гало, дуг и пятен на небе 355
- 6.36 Тень горы 356
- 6.37 Исчезающие тени облаков 357
- 6.38 Цвет океана 357
- 6.39 Блестящие отражения солнца и луны 358
- 6.40 Кольца света 358
- 6.41 Тени и цвета на воде 358
- 6.42 Цвет тени 359
- 6.43 Почему мы видим темную часть Луны 360
- 6.44 Венец и оппозиционный эффект 360
- 6.45 Колосющаяся нива 362
- 6.46 Глория 362
- 6.47 Корона 363
- 6.48 Корона на замерзшем стекле 363
- 6.49 Радужные облака 363
- 6.50 Синяя луна 363
- 6.51 Желтые противотуманные фары 364
- 6.52 Почему мокрое темнее сухого 364
- 6.53 Цвет снега и льда 364
- 6.54 Фирновое зеркало и искрящийся снег 365
- 6.55 Белая мгла и снежная слепота 365
- 6.56 Желтые лыжные очки 366
- 6.57 Когда лед становится темным 366
- 6.58 Яркие облака и темные тучи 366
- 6.59 Серебряные облака 367
- 6.60 Отражение в зеркале 367
- 6.61 Отражение в воде и зеркало на сцене 368
- 6.62 Призрак Пеппера и голова без тела 368
- 6.63 Наклонные окна в пунктах управления полетом 369
- 6.64 Отражения в двух и трех зеркалах 369
- 6.65 Калейдоскопы 370
- 6.66 Зеркальные лабиринты 371
- 6.67 Сайд-шоу «Стрельба по мишени из лазера» 372
- 6.68 Темные треугольники между елочными шарами 373
- 6.69 Как блестящее становится черным, а белое — чернее черного 374
- 6.70 Светоотражатели 374
- 6.71 **Короткая история.** Как в темноте приземлиться в тылу врага 375
- 6.72 Одностороннее зеркало 375
- 6.73 Зеркало заднего вида 375
- 6.74 Зеркало бокового обзора 376
- 6.75 Бар в «Фоли-Бержер» 376
- 6.76 Картины эпохи Возрождения и оптические проекторы 377
- 6.77 Анаморфоз в искусстве 377
- 6.78 Где под уличными фонарями светлее 377
- 6.79 Многократные отражения от окон с двойными стеклами 378
- 6.80 Самый мощный прожектор в мире 378
- 6.81 Луч смерти Архимеда 379
- 6.82 **Короткая история.** Испепеляющие страсти 379
- 6.83 Призрачные огни на кладбище 380
- 6.84 Какой видит рыбу рыбак 380
- 6.85 Каким видит рыба рыбака 380
- 6.86 Как прочесть письмо в запечатанном конверте 381
- 6.87 **Короткая история.** Глотание шпаги и эзофагоскопия 382
- 6.88 Оптика дверцы душевой кабинки 383
- 6.89 Магия преломления 383
- 6.90 Человек-невидимка и прозрачные животные 384
- 6.91 Рефракция, изгибающая дорогу 385
- 6.92 Надо ли поливать растения на жарком солнце? 386
- 6.93 Можно ли зажечь костер с помощью льда? 386
- 6.94 Бриллианты 386
- 6.95 Опалы 387
- 6.96 Александритовый эффект 387
- 6.97 Звездчатый сапфир 387
- 6.98 Свет, прошедший через бокал с вином, окно и каплю воды 388
- 6.99 Тени с яркими границами и полосами 389
- 6.100 Яркие и темные полосы на крыле 390
- 6.101 **Короткая история.** Ударные волны от автомобиля Thrust SSC 391
- 6.102 Камеры пинхол и пинспек 391
- 6.103 Изображения солнца под деревом 392
- 6.104 Свет, падающий через оконную сетку; линии между пальцами 392
- 6.105 Яркие царапины и разноцветная паутина 393
- 6.106 Яркие полосы на ветровом стекле 394
- 6.107 Отражения от грампластинок 395
- 6.108 Разные цвета на предметах с мелким рельефом 396
- 6.109 Против подделок: оптико-переменные элементы 396
- 6.110 Цветные кольца на запотевшем или пыльном зеркале 397
- 6.111 Цвет молока в воде 398
- 6.112 Цвет дыма от костра 398
- 6.113 Эффект анисового ликера 398
- 6.114 Цвет масляных пятен, мыльной пленки и металлической кастрюли 399
- 6.115 Структурная окраска насекомых, рыб, птиц и обезьян 400
- 6.116 Жемчуг 402
- 6.117 Бугорки на глазах насекомых и самолеты-невидимки 402
- 6.118 Переливчатые растения 403
- 6.119 Против фальшивомонетчиков — цветопеременная краска 403
- 6.120 Насыщенный цвет лепестков 404
- 6.121 Сияние желтых листьев осины 404
- 6.122 Цвет глаз 405
- 6.123 Посинеть от холода 405
- 6.124 Узоры из пятнышек 405
- 6.125 Цвета при свете люминесцентной лампы 406
- 6.126 Поляризационные солнцезащитные очки 407
- 6.127 Поляризация света неба 408
- 6.128 Как муравей находит дорогу домой 409

- 6.129 Цветные пятна и поляризация 410
- 6.130 Бесцветные пена и мелкий порошок 411
- 6.131 Блестящий черный бархат, блестящие покрытия 411
- 6.132 Цвет зеленого стекла и зеленый бархат 412
- 6.133 Прекрасная персиковая кожа и кажущаяся мягкость 412
- 6.134 Вечеринки с «Твинки» и вазелином 413
- 6.135 Цвет мяса 413
- 6.136 Недолитое пиво 414
- 6.137 «Белее белого» 414
- 6.138 Исчезающая монета 414
- 6.139 Солнцезащитные очки и смог 415
- 6.140 Яркость океана 415
- 6.141 Синяя лента на морском горизонте 415
- 6.142 Ночная тьма опускается стремительно 416
- 6.143 Цветной конденсационный след самолета 416
- 6.144 Перламутровые облака 416
- 6.145 Сумеречный фиолетовый свет 416
- 6.146 Рябь на небе 417
- 6.147 Линия на фоне дождя вдалеке 417
- 6.148 Ясная ночь 417
- 6.149 Зодиакальный свет, противосияние и другие ночные огни 418
- 6.150 Отражения на линии морского горизонта 418
- 6.151 Как использовать сплошной металлический шар для фокусировки света 418
- 6.152 Крутой поворот в кривом зеркале 419
- 6.153 Цвет дыма сигареты 419
- 6.154 Что бы мы увидели в ультрафиолетовом свете 420
- 6.155 Дифракция на буквах 420
- 6.156 Игра с отражением 420
- Глава 7**  
Физика зрения  
*Танец броненосцев на фоне распухшей Луны* 421
- 7.1 Лунная иллюзия 421
- 7.2 Форма неба 421
- 7.3 Как «обезглавить» человека с помощью слепого пятна 422
- 7.4 Серая сетка по утрам, летающие точки днем 422
- 7.5 Мушки и другие пятна в глазу 423
- 7.6 Ореолы вокруг уличных фонарей, горящих свечей и звезд 424
- 7.7 Фосфены — психоделические картинки 424
- 7.8 Жужжание и стробоскопический эффект 425
- 7.9 Как уследить за летящим бейсбольным мячом 426
- 7.10 Импрессионизм 427
- 7.11 Пуантилистический стиль в живописи 427
- 7.12 Муаровые узоры 428
- 7.13 Оп-арт 428
- 7.14 Эффект глубины на картинах, написанных маслом 429
- 7.15 Чтение в темноте 430
- 7.16 Цветной призрак светящейся точки 430
- 7.17 Отражающие глаза 431
- 7.18 Как видят под водой люди, пингвины и крокодилы 431
- 7.19 Подводное зрение «четыреглазых» рыб 432
- 7.20 Улыбка Чеширского кота 432
- 7.21 Рино-оптический эффект 433
- 7.22 Бегущие облака и синие вредючки 433
- 7.23 Эффект Палфрича 434
- 7.24 Последовательное зажигание уличных фонарей 435
- 7.25 Полосы Маха 435
- 7.26 Перевернутый мир 436
- 7.27 Перевернутые тени и бугор на ровном месте 436
- 7.28 Странное отражение в елочном шарике 437
- 7.29 Вращение узоров из случайно нанесенных точек 437
- 7.30 Снежные узоры на телевизионном экране 438
- 7.31 Улыбка Моны Лизы 438
- 7.32 Призраки телевизионного экрана, плавающие в воздухе 439
- 7.33 Чтение через маленькие отверстия (пинхолы) 439
- 7.34 Цветной ореол вокруг пальца 440
- 7.35 Наблюдение звезд днем через трубу 440
- 7.36 Как звездочеты смотрят на звезды 440
- 7.37 Земные объекты, различимые с орбиты 441
- 7.38 Медоносные пчелы, пустынные муравьи и поляризованный свет 441
- 7.39 Щетка Гайдингера 442
- 7.40 Цвета теней 443
- 7.41 Безопасность солнцезащитных очков 443
- 7.42 Хрусталики рыб 443
- 7.43 Ощущение объема на красно-синих плакатах 444
- 7.44 Синие дуги Пуркинье 445
- 7.45 Пятно Максвелла 446
- 7.46 Визуальные ощущения от излучения 446
- 7.47 Красный свет на панелях управления 447
- 7.48 Рентгеновское зрение Супермена 447
- 7.49 Иллюзия фейерверков 447
- 7.50 Взгляд на потолок 447

Алфавитный указатель 449



# От автора

*Эта книга посвящается моей жене **Мэри Голрик**, которая была рядом все 13 лет, что я готовил колонку «Ученый-любитель» для журнала *Scientific American*, все 16 лет, когда я писал «Фундаментальные основы физики», и все 200 лет (по моим ощущениям), которые я потратил на это издание «Нового физического фейерверка». Без ее поддержки, любви и терпения я бы просто сидел и смотрел в стену.*

История «Физического фейерверка» началась одним мрачным вечером в 1968 году, когда я был помощником преподавателя в Мэрилендском университете. В тот день я поспорил со своей студенткой — Шэрон. Она провалила тест и возмутилась: «Какое отношение это все имеет к моей жизни?!»

Я тут же ответил: «Шэрон, это физика! Она имеет прямое отношение к жизни!»

Она внимательно посмотрела на меня и сказала: «Приведите пример».

Я думал и думал, но в голову так ничего и не пришло. Я шесть лет посвятил физике, но не смог придумать один-единственный пример.

Вечером я понял, что проблема во мне: когда мы говорили про физику, мы имели в виду то, что люди делали в здании физического факультета, а не нашу обычную жизнь. Поэтому я решил собрать несколько примеров из реального мира и назвал эту коллекцию «Физическим фейерверком». Понемногу к ней добавлялись новые задачи.

Вскоре «Физическим фейерверком» заинтересовались другие люди: сначала студенты, потом и преподаватели. Эта коллекция попала в одну из научных публикаций Мэрилендского университета, а затем издательство John Wiley & Sons предложило мне контракт на книгу.

Книга была напечатана в 1975 году, когда я уже был профессором физики в Государственном университете Кливленда. С тех пор ее перевели на 11 языков. Перед вами второе издание книги, полностью переработанное.

Когда я начинал собирать материал для «Физического фейерверка», я просматривал пару десятков научных журналов, страница за страницей, в поисках

интересных статей. Мне казалось, что я старатель в бесплодных горах: крупинцы золота встречались редко, извлечь их было сложно.

Теперь мир поменялся. Каждый год публикуют сотни научных работ подходящей тематики. Можно сказать, что я нашел свою золотую жилу. Я сам просматриваю около 400 журналов и проверяю с помощью поисковика еще несколько сотен. Мои пальцы летают над клавиатурой. Мне бы хотелось, чтобы Шэрон увидела те любопытные вещи, которые я отыскал. Эта книга позволит вам заглянуть мне через плечо и убедиться: физика имеет «прямое отношение к нашей жизни».

## САЙТ «НОВОГО ФИЗИЧЕСКОГО ФЕЙЕРВЕРКА»

У этой книги есть свой сайт, на котором вы найдете:

- библиографическую справку — цитаты из 10 000 научных работ по инженерному делу, математике, медицине и юриспруденции;
- дополнительные задачи;
- исправления, уточнения и комментарии к книге;
- расширенный алфавитный указатель.

[www.flyingcircusofphysics.com](http://www.flyingcircusofphysics.com)

## БЛАГОДАРНОСТИ

Мне надо поблагодарить очень многих людей, которые поддерживали меня, когда я думал, что все пропало. Или которые терпели меня, когда я работал как одержимый.

Спасибо Джирлу и Марте Уокер (мои родители, которые в моей юности провели немало бессонных ночей, беспокоясь, что меня ждет — оглушительный

успех или тюремная камера), Бобу Филипсу (учитель математики и физики в старшей школе, который открыл для меня новый мир), Филу ДиЛавору (благодаря ему я начал преподавать), Джо Рэддишу (он настоял, чтобы Мэрилендский университет опубликовал мои записки), Филу Моррисону (он убедил меня взяться за книгу и написал на нее отличную рецензию в журнал Scientific American — так началось мое 13-летнее сотрудничество с ними), Дэннису Флэнагану (редактор журнала Scientific American, который стал моим наставником на эти 13 лет), Дональду Дэнеку (сотрудник издательства John Wiley & Sons, предложивший мне контракт на «Физический фейерверк»), Карлу Касперу и Бернарду Хэммермешу (они были хорошего мнения о книге и предложили мне должность ассистента профессора в Государственном университете Кливленда), Дэвиду Хэллидею и Роберту Реснику (они уступили мне «Фундаментальные основы физики» в 1990 году), Эду Миллмену (он объяснил мне, как писать учебники), Мэри Джейн Сондерс (она вычитала много страниц рукописи и помогла появиться новому

изданию «Физического фейерверка»), Стюарту Джонсону (физическому редактору издательства John Wiley & Sons, который помог мне с этой книгой и с «Фундаментальными основами физики»), Кэрол Сэйтцер (она прочла рукопись этой книги и внесла много серьезных правок), Мэделин Лейже (дизайнер этой книги), Элизабет Суэйн (она отвечала за издание этой книги в John Wiley & Sons), Крису, Кэрол и Клэр Уокерам (мои взрослые дети, которым всю жизнь приходилось терпеть мою любовь к преподаванию и книгам), Патрику Уокеру (мой подрастающий сын — он не только терпел мою работу, но и научил меня подниматься на стены с отрицательным уклоном на скалодроме) и — больше всех — моей жене Мэри Голрик, которая подкинула мне много идей и подбадривала меня, когда я говорил «Все пропало».

*Джирл Уокер,  
департамент физики,  
Государственный университет Кливленда*

# Предисловие

Обычно задача предисловия — помочь читателю решить, «покупать или не покупать», и подтолкнуть его к правильному (сами понимаете какому) выбору. В данном случае сложностей никаких: что такое задачник по физике, все и так знают, а открыв этот, вы сразу увидите, в чем его особенность, — достаточно прочесть первые две задачи. Только не дочитывайте до десятой — она к вам не имеет отношения!

Эта книга не похожа на обычные школьные задачки и пособия для подготовки к ЕГЭ — в ней описаны реальные природные или экспериментальные ситуации. Рассматривая задачу, надо сначала понять, какие физические законы проявляются в данном случае и как именно они работают, то есть построить модель явления. Именно такими вопросами занимается физика как наука, и именно с попытки понять, что важно и что не важно для конкретной ситуации, начинается поиск ответа. Поэтому сейчас у вас в руках не очередной задачник, который сулит вам «сто баллов». **У вас в руках способ понять, что такое физика, чем и как она занимается. Интересно ли, нужно ли это вам как ученику (или как родителю ученика).**

Правда, в «серьезной» физике мало поднять глаза к потолку и изречь, что дело в том-то и том-то, — надо построить связную и полную модель, дать расчет, результат которого умеренно близок к наблюдению или эксперименту. Но не всё сразу. Кошка тоже сначала боялась пылесоса — а потом втянулась. Потому что физика как профессия — это жизнь, со своими проблемами и решениями, огорчениями и радостями, с острым кайфом в момент, когда вы понимаете, что решили проблему и теперь в мире существует что-то, что знаете только вы, — и вам есть кому это рассказать. Уж можете мне поверить...

Книга принесет много пользы старшеклассникам и учителям: предложенные в ней задачи подойдут для занятий физического кружка или первого частично самостоятельного исследования. Многие задачи будут интересны студентам и преподавателям вузов: одни

из них могут стать темой самостоятельной научной работы, первой публикации в научном журнале, другими можно воспользоваться на лекции как красивой иллюстрацией действия того или иного закона. Книга доставит удовольствие тем инженерам и физикам, кто еще не совсем забыл свое детство и способен думать не только о проблемах Вселенной, но и о более земных вещах — дожде, трафике на дорогах, дятлах, долбящих дерево, и так далее. Кроме того, в задачнике есть повествовательные вставки, рассказывающие о реальных историях, которые имеют отношение к разбираемым задачам. Так что и развлечение вам обеспечено.

Сегодня на всех прилавках можно увидеть популярные книги о Вселенной и элементарных частицах, способные создать ощущение причастности к чему-то большому... Красивые слова действуют как гипноз. Однако для понимания того, как работает физика, этот задачник полезнее таких книг. Потому что передний край науки далек от нас, а ситуации, которые разбирает Уокер, — они вот тут, рядом и вокруг. **Вскоре вы начнете замечать физические задачи вокруг себя. И это не лечится.**

Сложны ли эти задачи? Да как сказать... Чтобы разобраться в их первом слое, школьного курса достаточно. Правда, надо его применить, а этому школа учит нечасто. Заодно и потренируетесь... Даже физик-профессионал не сможет щелкать эти задачи как орешки — вот и вы будете возвращаться к книге много-много раз. А то школьник — я вижу это ежегодно и в массовом масштабе — в теории знает, что такое котлета, но перед реальной тарелкой с реальной котлетой замирает в недоумении. Пахнет приятно... Но что с ней делать?

Да как что?! Котлету — есть! Книгу — читать, а задачи — пробовать на зуб.

*С уважением,  
Леонид Ашкинази,  
в некоторой мере научный редактор*

## Глава 1

# Механика твердых тел

## Между каплями дождя

### 1.1 • БЕЖАТЬ ИЛИ ИДТИ ПОД ДОЖДЕМ?

Что лучше — перебежать улицу или спокойно перейти ее шагом, когда на улице дождь, а у вас с собой нет зонтика? Если вы побежите, то, конечно, проведете меньше времени под дождем, но зато на вас упадет больше капель. Изменится ли ответ, если ветер дует в лицо и струи дождя льют прямо на вас? А если дождь хлещет в спину?

Если вы ведете автомобиль под дождем, какую скорость вам выбрать, чтобы на лобовое стекло попадало наименьшее количество воды и сквозь него хоть что-то было видно?

**ОТВЕТ** • Если дождь падает вертикально или хлещет из-за встречного ветра в лицо, нужно бежать как можно быстрее. Хотя вы и набегаете на капли дождя, но чем меньше времени проведете под дождем, тем меньше намокнете. Чтобы уменьшить количество падающих на вас капель, следует уменьшить площадь своего сечения в перпендикулярной струям плоскости, то есть наклониться вперед. Как заметил кто-то из моих студентов, если под дождем нужно бежать, да еще и наклоняться при этом, проще уж воспользоваться скейтбордом. Но тогда вы привлечете к себе повышенное внимание, а кроме того, таскать с собой скейтборд еще неудобнее, чем зонтик.

Если же ветер дует вам в спину, лучше всего бежать со скоростью, равной горизонтальной составляющей

скорости падающих капель. В этом случае намокнут голова и плечи, но ни на переднюю, ни на заднюю часть тела капли попадать не будут. Однако эта стратегия не сработает, если под дождем перемещается объект с гораздо большей, чем у вас, площадью горизонтального поперечного сечения. Такой объект соберет заметное количество воды на своей верхней поверхности, даже если его скорость совпадет с горизонтальной скоростью капель дождя. Чтобы меньше промокнуть, этот объект должен перемещаться как можно быстрее.

Если вы в дождь ведете машину, вы не рискуете промокнуть, но вам важна хорошая видимость. Если капли падают вертикально вниз или если их сдувает в лобовое стекло, нужно ехать медленно. Если же капли сдувает ветром в направлении вашего движения, то в идеале вам нужно ехать со скоростью, равной горизонтальной скорости капель, но тогда, возможно, уж лучше вообще не трогаться в путь.

### 1.2 • КОЛОННЫ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАНСПОРТНЫЙ КОЛЛАПС

Как согласовать последовательность переключений светофоров на перекрестках улиц, чтобы плотный поток транспорта ехал по улице равномерно и без остановок? Нужно ли менять график переключений в часы пик? Почему иногда, например во время снежной бури, эти схемы переключений перестают работать, собираются пробки и поток машин фактически останавливается?

**ОТВЕТ** • Автомобили движутся группами, или, иначе, колоннами. Допустим, на перекрестке 1 колонна останавливается на красный свет светофора. Когда светофор переключается на зеленый, передние машины в колонне первыми ускоряются и начинают двигаться с некоторой обычной для этой магистрали скоростью потока. До того как они подъедут к перекрестку 2, сигнал светофора на этом перекрестке должен

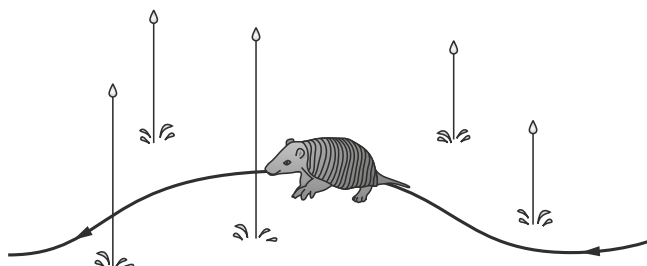


Рис. 1.1 / Задача 1.1

переключиться на зеленый, чтобы водители не испугались и не начали тормозить. Если знать расстояние между перекрестками, типичное ускорение машин-лидеров и время, которое им понадобится, чтобы доехать до перекрестка на данной скорости, можно рассчитать момент, в который сигнал светофора 2 должен переключиться на зеленый.

Движение задних автомобилей в колонне начинается не в момент переключения сигнала светофора на зеленый, а с задержкой, то есть тогда, когда «волна стартов» дойдет до них (водители начинают движение не одновременно). Возможно, на это понадобится несколько десятков секунд. Если хвост колонны начнет движение слишком поздно, он будет остановлен следующим красным сигналом светофора на перекрестке 2. Предположим, колонна, движущаяся по той же улице следом за первой, такой же длины или даже длиннее предыдущей. Тогда количество машин, остановленных следующим красным сигналом светофора на перекрестке 2, увеличится.

Положение ухудшится, если и следующие за ними колонны тоже длинные. Колонна машин, остановленных на перекрестке 2, может увеличиться и растянуться до перекрестка 1. Тогда задние машины перекроют поперечное движение на этом перекрестке. Так начинается транспортный коллапс. Чтобы разрядить ситуацию, последовательность переключения сигналов светофоров на перекрестках 1 и 2 нужно поменять. Зеленый сигнал на светофоре 2 должен теперь загораться раньше зеленого на светофоре 1, тогда машины, остановленные на светофоре 2, смогут уехать до того, как прибудет следующая колонна. Смену режимов переключения сигналов светофоров можно производить вручную или с помощью компьютера, отслеживающего количество машин, стоящих на перекрестке 2.

Движение колоннами можно наблюдать и в туннелях (особенно там, где перестроение между полосами запрещено), и на двухполосных загородных шоссе. В каждом случае колонны машин образуются тогда, когда более быстрый автомобиль упирается в более медленный, например в фуру. На сельских дорогах колонна рассасывается, если водителям удастся обогнать автомобиль-тихоход.

### 1.3 • «ВОЛНЫ ТРАФИКА» НА АВТОСТРАДЕ

Почему, когда поток машин, движущихся по шоссе или автостраде, уплотняется, «волны трафика», образуемые ускоряющимися и замедляющимися автомобилями, перемещаются по потоку? Эти волны иногда

возникают, когда случается ДТП или когда заглохшая машина блокирует полосу, а иногда поток замедляется из-за разных несущественных причин вроде перестраивания какой-то машины с полосы на полосу. В каком направлении движутся эти «волны» — по ходу потока или в противоположном направлении? Почему «волны» долго не исчезают после того, как попавшие в ДТП или заглохшие машины были эвакуированы?

**ОТВЕТ** • Когда машин мало, действия отдельного водителя не оказывают большого влияния на других водителей, особенно если есть возможность обгона. Когда плотность потока несколько увеличивается, водители начинают влиять друг на друга — в том смысле, что они начинают медленнее двигаться (частично из соображений безопасности, а частично — из-за того, что уменьшается возможность обгона). Предположим, вы ведете машину в таком потоке. Если водитель перед вами замедляется или ускоряется, через секунду вы среагируете и сделаете то же самое. Водитель, едущий позади вас, еще через секунду последует вашему примеру. И так волна изменений скорости распространится по цепочке автомобилей назад. Вероятно, эта волна со стороны малозаметна, поскольку обычно скорости не меняются резко.

Теперь предположим, что передний водитель резко ударил по тормозам. И вы, и водитель за вами тоже резко затормозите, но каждому из вас потребуется примерно секунда на то, чтобы среагировать. Резкое торможение распространится в виде волны назад по цепочке машин, и такая волна уже будет заметна для наблюдателя, находящегося на обочине дороги. Эта волна — «волна трафика», или «стоп-волна». В зависимости от концентрации машин она может распространяться как в направлении движения машин (по ходу движения), так и в противоположном направлении (против хода движения), иногда она даже может стать стоячей.

Предположим, волна возникла, когда одна из машин заглохла в достаточно плотном потоке, и водителю потребуется 15 минут, чтобы убрать машину с дороги. Поскольку после этого автомобили начинают разгоняться до нормальной своей скорости, через длинную цепочку скопившихся машин пройдет «волна разрежения». Может пройти много времени, прежде чем «волна разрежения» догонит «стоп-волну», или, иначе, «волну трафика», все еще распространяющуюся по цепочке машин назад. И только тогда движение автомобилей вернется в нормальное русло.

#### 1.4 • МИНИМАЛЬНАЯ ДИСТАНЦИЯ МЕЖДУ МАШИНАМИ ПРИ БУКСИРОВКЕ

Каким должно быть минимальное расстояние между буксирующим и буксируемым автомобилями, при котором буксируемый автомобиль успеет остановиться, прежде чем столкнется с буксировщиком, если тому придется резко затормозить? Общие рекомендации состоят в том, что расстояние между двумя этими автомобилями должно зависеть от скорости и при возрастании скорости на каждые 16 км/ч увеличиваться минимум на одну длину машины. Обоснованы ли эти рекомендации?

**ОТВЕТ** • Рекомендации необоснованы, поскольку держатся на двух сомнительных предположениях. Одно из них состоит в том, что у обоих водителей одинаковая скорость реакции в чрезвычайной ситуации. Если водитель буксируемого автомобиля реагирует медленнее, чем водитель буксировщика, потребуются большая дистанция. Другое, менее явное, предположение состоит в том, что обе машины замедляются одинаково. Это предположение вообще нереально, если только автомобили не тормозят юзом, хотя и в этом случае нет гарантии. Конечно, опасная ситуация возникает, когда именно буксирующая машина тормозит быстрее, чем буксируемая.

Предположим, разница в скорости торможения у машин мала. Есть ли простое правило для расчета минимальной дистанции, позволяющей избежать столкновения при экстренном торможении? Как ни странно, нет, поскольку она зависит от квадрата скорости, так что ее нелегко вычислить в уме применительно к данной ситуации. Поэтому, если вы быстро едете за другой машиной, лучше держаться на гораздо большем расстоянии, чем того требует инструкция.

#### 1.5 • ПРОЕЗД НА ЖЕЛТЫЙ СВЕТ

Допустим, вы подъезжаете к перекрестку и тут светофор переключается на желтый. Что нужно сделать: жать на тормоза и останавливаться, продолжать движение на прежней скорости или ускориться? Вы можете принять решение, основываясь на собственном опыте, оценив свою скорость, расстояние до перекрестка, ширину поперечной улицы и попытавшись угадать, как долго будет гореть желтый сигнал светофора. Есть ли вероятность, что вы нарушите правила дорожного движения при любых действиях, даже если не превысите разрешенную скорость?

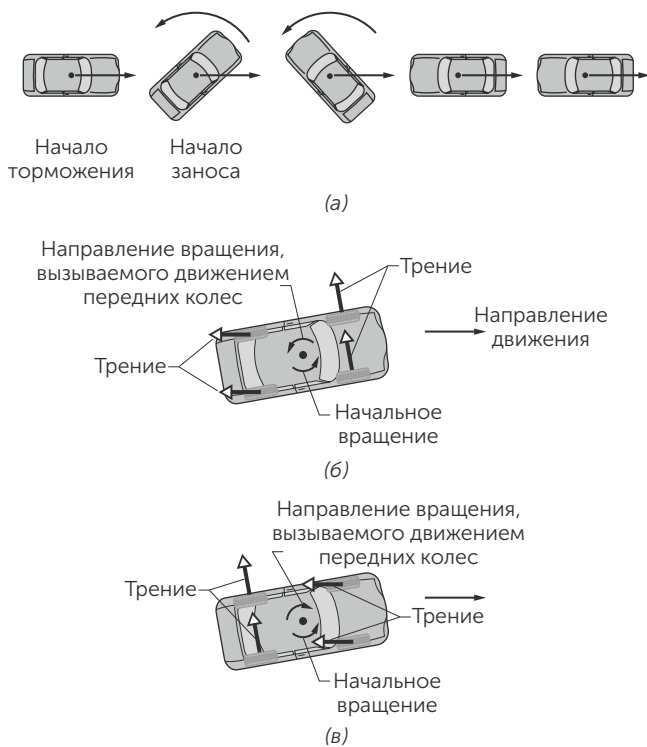
**ОТВЕТ** • Ответ зависит от местного законодательства. В одних местах считается, что вы нарушаете закон, если в тот момент, когда загорелся красный свет, находитесь на перекрестке, в других вы имеете право находиться на перекрестке, если въехали на него до того, как светофор переключился на красный. В первом случае вы вполне можете оказаться в патовой ситуации, когда не имеете возможности ни вовремя остановиться, ни достаточно ускориться (не превысив при этом допустимой скорости), чтобы проскочить перекресток. В таком случае есть диапазон расстояний до перекрестка, в котором любые ваши действия приводят к нарушению закона. Ситуация еще более усугубится, если окажется, что желтый сигнал горит недолго, а разрешенная скорость мала. Возможность возникновения такой ситуации зависит от расстояния до перекрестка, времени горения желтого сигнала, вашего тормозного пути при данной скорости, возможности увеличения скорости и ее разрешенного предельного значения. Опасность столкновений меньше, если зеленый сигнал для потока, движущегося по перпендикулярной улице, загорается с задержкой в одну-две секунды после включения красного сигнала для потока в вашем направлении.

#### 1.6 • ЗАКРУЧИВАНИЕ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ЭКСТРЕННОМ ТОРМОЖЕНИИ

Когда машины, в которых нет системы АБС (антиблокировочной системы), экстренно тормозят, они начинают вращаться, а иногда даже ехать задом наперед (рис. 1.2а). Что заставляет их вращаться и почему не все типы автомобилей закручиваются при резком торможении? Какой стратегии лучше придерживаться, чтобы восстановить управляемость, если автомобиль уже начал вращаться? Куда нужно поворачивать колеса — в сторону заноса или в сторону предполагаемого движения?

**ОТВЕТ** • Разворачивает обычно автомобили, у которых двигатель крепится спереди, поскольку больший вес у них приходится на передние колеса и меньший — на задние. Это означает, что, скорее всего, сначала заблокируются задние колеса и они начнут скользить первыми, а уже потом — передние. И тогда любой случайный поворот, вызванный, например, неровностью дороги, быстро приведет к развороту.

Для того чтобы объяснить, отчего возникает разворот, рассмотрим трение между покрытием дороги и шиной, когда машина, у которой двигатель спереди, начинает поворачивать налево по отношению



**Рис. 1.2 / Задача 1.6.** а) Разворот автомобиля при резком торможении. Показаны силы трения, действующие на шины при размещении двигателя под передним капотом (б) и задним капотом (в).

к первоначальному направлению движения (рис. 1.2б). Силы трения, приложенные к проскальзывающим задним шинам, направлены назад. Силы трения, приложенные ко все еще вращающимся передним шинам, параллельны передней оси и направлены налево и частично назад. Все эти силы создают крутящий момент, стремящийся развернуть машину в горизонтальной плоскости вокруг ее центра масс. Момент сил, приложенных к передним колесам, больше, и он пытается развернуть машину в том же направлении, в котором машина уже начала вращаться. Таким образом, угол поворота все растет, и машина разворачивается.

Если же двигатель расположен у машины сзади, роли сил трения, действующих на передние и задние колеса, меняются и крутящие моменты, приложенные к задним колесам, преобладают — они стремятся уменьшить начальный поворот (рис. 1.2в).

Согласно стандартным рекомендациям, если вашу машину начинает закручивать, вы должны выворачивать передние колеса в сторону первоначального движения. При этом вы создадите крутящий момент, приложенный к передним колесам, который будет

препятствовать закручиванию. Но если вы не самый опытный водитель, то можете перестараться — и машину закрутит в противоположном направлении.

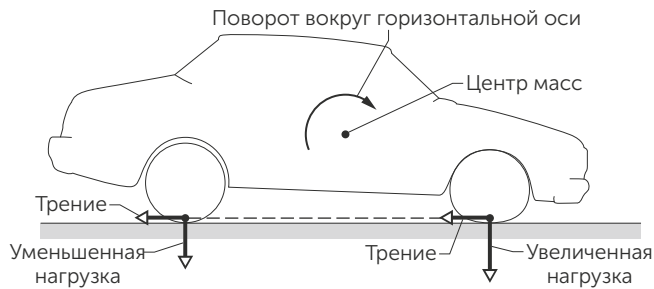
## 1.7 • СКОЛЬЗИТЬ ИЛИ НЕ СКОЛЬЗИТЬ

Предположим, что вы едете по шоссе и тут на дороге выскакивает огромный лось. Предположим также, что в машине нет АБС (антиблокировочной системы). Должны ли вы тормозить юзом, для чего надо как можно сильнее нажать на тормоз и тем самым заблокировать колеса, или же следует нажимать на тормоз лишь до тех пор, пока не почувствуете, что скольжение вот-вот начнется, то есть колеса не блокировать? Если автомобиль входит в режим полного скольжения (режим юза), почему скольжение так резко заканчивается в конце тормозного пути?

**ОТВЕТ •** В учебниках обычно рекомендуют второй вариант, правильно отмечая, что машина останавливается именно из-за трения между дорогой и шинами. Если колеса крутятся, трение можно увеличивать до определенного уровня, выжав педаль тормоза до некоторой величины. Если вы нажмете на тормоз сильнее, колеса заблокируются, шины начнут проскальзывать, трение уменьшится и тормозной путь увеличится.

Наилучший способ, как пишут в учебниках, — сильно тормозить, но только до тех пор, пока не начнется проскальзывание, и тогда тормозной путь будет минимальным. На самом деле это не совсем верно, поскольку в таком случае тормозной путь может быть на 25% длиннее, чем если бы вы заблокировали колеса и тормозили юзом.

Совет из учебника в экстренной ситуации может оказаться неправильным по двум причинам. Во-первых, у вас вряд ли будет время для экспериментов с тормозами. Вторая причина связана с крутящими моментами, создаваемыми силами трения между колесами и дорогой. Эти моменты стремятся наклонить машину, повернув вокруг горизонтальной оси, проведенной через центр масс (рис. 1.3), что уменьшает нагрузку на задние колеса и увеличивает на передние. Предположим, вы нажали на тормоз с таким усилием, что колеса еще крутятся, но еще чуть-чуть — и заскользят. Поскольку колеса все еще вращаются, а нагрузка на задние колеса уменьшилась, именно они (а не передние, испытывающие большую нагрузку) уже находятся на грани проскальзывания, и сила трения, приложенная к задним колесам, мала. Следовательно, общее



**Рис. 1.3 / Задача 1.7.** Машина наклоняется вперед при торможении.

трение у всей машины будет меньше, а тормозной путь — больше.

Теперь предположим, что вы нажали на тормоз с такой силой, что заблокировали все колеса, то есть машина пошла юзом. При полном скольжении трение между колесами и покрытием дороги зависит от нагрузки на них. Поскольку нагрузка на передние колеса увеличена, сила трения между ними и дорогой велика. Но даже притом, что нагрузка на задние колеса мала, увеличенное трение между передними колесами и покрытием означает, что общее трение больше, чем в предыдущем случае, а следовательно, тормозной путь машины короче. И все же блокировать колеса без крайней необходимости не стоит, так как при скольжении теряется контроль над машиной, и она вполне может развернуться (см. задачу 1.6) и даже столкнуться с движущимися в том же или в противоположном направлении машинами.

Резкая остановка в режиме полного скольжения объясняется тем, что внезапно возрастает трение между шинами и асфальтом. При скольжении в области их соприкосновения в начале торможения образуется смазка из расплавившегося гудрона и резины (см. задачу 1.8). Но при замедлении автомобиля количество расплавленного вещества — смазки — уменьшается, и трение внезапно возрастает.

### 1.8 • ТОРМОЖЕНИЕ ЮЗОМ

При экстренном торможении, если колеса блокируются, шины начинают скользить по асфальту и на нем остаются следы. Предположим, машина начинает скользить на определенной скорости и останавливается. Влияет ли на длину тормозного следа вес машины? А рисунок протектора и ширина шин? Что, если «резина лысая»?

Почему остановить машину труднее, когда дорога лишь слегка мокрая, чем когда по ней ручьями течет вода?

**ОТВЕТ** • При экстренном торможении трение между шинами и дорогой сначала увеличивается до максимальной величины, а затем падает, когда колеса блокируются и начинают проскальзывать. При скольжении от шин отрываются кусочки, а дорога и сами шины нагреваются. Шина может расплавиться, а если дорога покрыта составом, содержащим битум, может расплавиться и он. В таком случае образуется жидкая смазка, и трение еще уменьшается.

Расплавленное вещество быстро вернется в твердое состояние, но след от проскальзывавших колес останется надолго, возможно, на несколько месяцев. Часто по всей длине следа тянутся бороздки, возникшие либо из-за рельефа покрышек, либо из-за того, что в основании дороги лежит рыхлый гравий.

На бетонированных покрытиях следы скольжения остаются редко, а если и остаются, то они почти невидимы и образованы в основном оторванными или расплавленными фрагментами шин.

Если машина весь путь до остановки проходит юзом и ни с чем не сталкивается, длина тормозного следа позволяет установить ее скорость в момент, когда скольжение началось. Правда, это значение скорости можно определить только ориентировочно, поскольку в этих расчетах используется слишком много параметров. Один из них — масса (или вес) автомобиля. Для тяжелого автомобиля тормозной путь до остановки немного длиннее, чем для более легкого, в первую очередь из-за того, что при большем весе образуется больше смазки. (В судах при разборе ДТП и в книгах по физике этим фактором пренебрегают.)

А еще длина тормозного следа зависит от состояния дороги: он короче, если асфальт содержит вкрапления камня, и длиннее, если он отполирован шинами большого количества машин. Длина тормозного пути не зависит от ширины шин, так как, в принципе, силы трения между шинами и дорогой зависят только от веса, который давит на шины, от рисунка протектора (а следовательно, от сцепления шин с поверхностью дороги), но не от их ширины.

Если дорога сухая, бороздки на шинах не сильно влияют на длину тормозного пути, если же дорога влажная, их влияние может оказаться существенным. Когда воды много, как, например, во время ливня,



шины начинают скользить на тонком слое воды (*аквапланирование*). При этом движении трение почти нулевое, шины не соприкасаются с дорогой: поскольку вода не может найти выхода и вытечь из-под шин, они как бы парят над асфальтом. Чтобы уменьшить аквапланирование, на шинах делаются бороздки, которые направляют и выводят воду с нижней части шин наружу. Аквапланирование влияет еще сильнее, если до дождя дорога была грязной, потому что смешанная с водой грязь образует очень вязкую смазку — что-то вроде жидкой глины, и тогда трение между шиной и дорогой снижается еще сильнее. При экстренной остановке это может заставить водителей врасплах — ведь они считали, что раз дождь только начался, то дорога еще не настолько намочена, чтобы началось аквапланирование. Зато после того, как дождь смывает грязь, а дорога высохнет, трение между шиной и дорогой станет больше, чем до дождя, поскольку грязи на ней не останется.

Но даже если воды недостаточно, чтобы началось аквапланирование, она все же может значительно уменьшить трение между шиной и дорогой. За сухую дорогу шина зацепляется, потому что нижняя часть шины прогибается под весом и все время плотно прижимается к поверхности дороги. Из-за этого она может подстраиваться под неровности дороги, заполняя

собой небольшие выбоины и вбирая в себя легкие выступы. Такое плотное прилегание шины к неровностям дороги и обуславливает большое трение, требующееся при аварийной остановке. Когда же дорога мокрая, емкости заполнены водой, а когда шина «запечатывает» собой кусок дороги, вода из этих ямок не может никуда уйти, и дорога оказывается как бы выровненной, без бугров. Таким образом, шина уже не может зацепиться за эти неровности.

Если машину начинает вращать во время аварийной остановки, следы на дороге будут искривленными. Это вращение может начаться как из-за того, что задние колеса заблокируются раньше передних, так и из-за уклона дороги (часто средняя часть дороги делается выше, чем ее края, чтобы дождевая вода с нее стекала).

Если колесо все еще крутится во время заноса, оно боком трется о дорогу и *оставляет следы*, на которых не видны типичные для следов, оставляемых при скольжении, бороздки. Если дорога настолько неровная, что машина на ней будет подпрыгивать, или если торможение неоднородно, любые следы могут быть прерывистыми. Короткие разрывы в следах обычно говорят о том, что автомобиль подпрыгивал, а длинные могут означать, что водитель пытался остановиться, нажимая и отпуская тормоз.

## КОРОТКАЯ ИСТОРИЯ

### 1.9 • РЕКОРДНЫЕ ТОРМОЗНЫЕ ПУТИ

Рекорд длины тормозного пути на общественных дорогах был установлен в 1960 году на шоссе М1 в Англии водителем «ягуара». Длина следа составляла 290 м. В суде утверждалось, что скорость автомобиля в момент, когда колеса только-только заблокировались, составляла примерно 160 км/ч. Но если принять коэффициент трения шин о покрытие дороги равным 0,7, можно подсчитать, что скорость машины составляла 225 км/ч.

Длина тормозного пути «ягуара», конечно, впечатляет, но она бледнеет при сравнении с рекордом, установленным Крейгом Бридлавом в октябре 1964 года на соляном озере Бонневиль-Солт-Флэтс. Пытаясь побить рекорд скорости для наземного автомобиля — 805 км/ч, Бридлав проехал на своем автомобиле «Спирит оф Америка» («Дух Америки») с установленным на нем ракетным двигателем мерную милю сначала в одном направлении, а потом в обратном, чтобы можно было учесть влияние ветра. Когда он мчался по мерной миле второй раз, его скорость составила 869 км/ч.

Для торможения он использовал парашют, но его стропы оторвались из-за недостаточной прочности, второй парашют тоже не сработал. Тогда он выжал педаль тормоза «в пол», но влияние тормозов сказалось в основном на появлении гигантского тормозного следа длиной почти 10 км, после чего они сгорели. После этого автомобиль продолжал мчаться со скоростью около 800 км/ч, проскочил две линии телефонных столбов, чудом не столкнувшись с ними. В конце концов он остановился, но как! Въехал на набережную, перескочил парапет и на скорости все еще больше 250 км/ч рухнул в соляное озеро глубиной 5 м. Бридлав был крепко пристегнут ремнями к сиденью и едва не утонул в салоне затопленного автомобиля. Но мерную милю Бридлав проехал и установил новый рекорд скорости, превывсив предыдущий почти на 40 км/ч. Его средняя скорость составляла 841 км/ч.

### 1.10 • ПОЧЕМУ ДЯТЛАМ И ТОЛСТОРОГИМ БАРАНАМ НЕ ГРОЗИТ СОТРЯСЕНИЕ МОЗГА

Дятел долбит клювом древесину, добывая пищу (насекомых, живущих под корой), строя дупла для выведения птенцов, а также выбивая громкую дробь для привлечения самки. При этих ударах голова дятла тормозит с отрицательным ускорением примерно в 1000 g (то есть в тысячу раз больше ускорения свободного падения). Для человека такая перегрузка смертельна или в лучшем случае может обернуться для него серьезной травмой мозга — сотрясением. Почему же дятел не падает с дерева мертвым каждый раз, когда вонзает свой клюв в дерево?

Сражаясь за самку в брачный сезон, самцы толсторогого барана с разбегу врезаются друг в друга и со страшной силой сталкиваются рогами и головами. И при этом они не падают на землю без сознания. Некоторые виды рогатых динозавров (например, *трицератопсы*) тоже наносили друг другу сокрушительные удары рогами. Почему же после таких столкновений соперники остаются целы и невредимы?

**ОТВЕТ** • До сих пор не вполне понятно, почему мозг дятла способен выдерживать огромные перегрузки, когда птица долбит дерево, но есть два основных предположения. Во-первых, клюв дятла движется строго по прямой. Некоторые исследователи считают, что сотрясение мозга у людей и животных происходит при боковых смещениях головы относительно шеи (в которой находится ствол головного мозга), а при движении головы вперед-назад вероятность сотрясения меньше. Во-вторых, мозг дятла плотно прилегает к черепу: он отделен от черепной коробки лишь тонким слоем вязкой жидкости, поэтому остаточные смещения или колебания ткани мозга сразу после удара не настолько сильные, чтобы вызвать повреждения.

Сшибающихся головами баранов обычно спасают три обстоятельства. 1. Их рога слегка деформируются во время удара, увеличивая время соударения и тем самым уменьшая силу удара. 2. Чтобы смягчить удар в голову, кости черепа также могут слегка сдвигаться или поворачиваться в соответствующих соединениях (швах черепа) наподобие пружин или шарниров. 3. Большая часть энергии удара гасится сильными шейными мышцами животных. И хотя соударения со стороны выглядят совершенно устрашающе, крепкие мышцы животных надежно защищают мозг от сотрясений, а прочные рога не ломаются при ударе. *Трицератопсов*, возможно, спасала еще и развитая система пазух, окружавших черепную коробку и служивших амортизаторами ударов.

### КОРОТКАЯ ИСТОРИЯ

#### 1.11 • РЕКОРДНЫЕ УСКОРЕНИЯ

В июле 1977 года на пересохшем озере Эль-Мираж в штате Калифорния Китти О'Нейл установила два рекорда на гоночном автомобиле типа «драгстер» на дистанции 402,3 м. Стартуя с места, она развила самую высокую зарегистрированную *финишную скорость* (скорость в конце дистанции) и поставила рекорд, преодолев дистанцию за самое короткое в истории время — 3,72 с. Развитая ею скорость была поразительной — 632,1 км/ч. Среднее ускорение на дистанции составило 47,1 м/с<sup>2</sup>. Это почти в 5 раз больше ускорения свободного падения. На других соревнованиях на дистанции 1600 м она показывала среднюю скорость 843 км/ч, но при этом ускорения были меньше.

В декабре 1954 года на базе Холломан ВВС США в Нью-Мексико полковник ВВС доктор Джон Стапп пристегнулся к сиденью на ракетных санях\*, оснащенных девятью ракетными двигателями. После запуска двигателей сани за 5 с разогнались до скорости 1018 км/ч. На стадии включения двигателей ускорение саней составило 56,4 м/с<sup>2</sup>, или 5,76 g. Цифра говорит сама за себя, однако настоящим испытанием для полковника стала остановка с помощью гидротормоза: сани замедлялись с ускорением 20,6 g, сбросив скорость до нуля всего за 1,4 с.

В мае 1958 года на той же базе Холломан Эли Бидинг-младший развил скорость 117 км/ч на похожих санях. В самой скорости нет ничего примечательного, она обычна для автобанов. Впечатляет время разгона — 0,04 с. За это время человек не успевает буквально и глазом моргнуть. Ускорение Бидинга составило 82,6 g, этот рекорд не побит до сих пор (речь идет о контролируемых ситуациях).

В июле 1977 года в Нортгемптоншире (Англия) гоночный автомобиль Дэвида Пэрли был смят при наезде на препятствие — его скорость со 174 км/ч снизилась до нуля всего за 66 см пути. Ускорение, которое он испытал, было почти смертельно — 179,8 g, но Пэрли выжил, хотя получил 29 переломов и 3 вывиха, а его сердце останавливалось 6 раз.

\* Платформа, которая движется по рельсам испытательного трека с помощью ракетных двигателей. *Прим. ред.*

### 1.12 • ЛОБОВЫЕ СТОЛКНОВЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Вы ведете автомобиль в тоннеле с односторонним движением и вдруг видите, что какой-то автомобиль едет вам навстречу. Что вы должны сделать, чтобы облегчить последствия надвигающейся аварии? Должны ли вы ускориться, замедлиться, остановиться или поехать назад?

Лобовые столкновения — самые страшные из всех автомобильных аварий. Удивительный факт: собранная статистика, касающаяся лобовых столкновений, говорит о том, что риск (вероятность) летального исхода для водителя меньше, если в машине кроме водителя находится и пассажир. Но почему?

**ОТВЕТ** • Лучший выход — остановиться и, если возможно, поехать назад. Полная кинетическая энергия или импульсы машин перед столкновением определяют тяжесть соударения. Если вы не погасите свою скорость, приближаясь ко второй машине, обе величины будут большими, и удар будет жестким.

В американском футболе, в котором игроки выступают в серьезной защитной амуниции, все не так. Там игрок одной команды может специально ускориться, когда бежит навстречу игроку другой команды. Но вся разница с автомобилями в том, что футболист как раз хочет, чтобы удар был посильнее, а правильно развернув корпус, он к тому же может направить его на уязвимые места соперника или сделать так, чтобы тот потерял равновесие и упал.

Вероятность фатального исхода зависит от изменения скорости в процессе соударения: большое изменение скорости означает, что на вас во время удара действовала большая сила, вызвавшая огромное ускорение. Например, если ваша машина имеет маленькую массу, а другая машина — большую, скорость вашей машины может измениться настолько, что она в результате будет отброшена назад. Дополнительная масса в вашей машине, будь то пассажир или даже мешок с песком в багажнике, может снизить изменение скорости, а следовательно, и риск фатального исхода. Вот численный пример: предположим, массы вашей и встречной машины одинаковы. И ваши с водителем встречной машины массы тоже равны. В этом случае риск фатального исхода для вас уменьшится на 9%, если рядом с вами будет сидеть пассажир весом 80 кг.

### КОРОТКАЯ ИСТОРИЯ

#### 1.13 • ПРЕДСТАВЛЕНИЕ С УЧАСТИЕМ ЛОКОМОТИВОВ

Это произошло 15 сентября 1896 года в американском городе Уэйко. Уильям Краш — сотрудник компании «Миссури — Канзас — Техас Рэйлроудс» — придумал беспроектную идею для шоу. На противоположных концах участка железнодорожных путей длиной 6,4 км он разместил два старых локомотива. Один был покрашен в красный цвет, другой — в зеленый. Идея состояла в том, чтобы столкнуть локомотивы друг с другом на полной скорости.

Известно, что публика любит смотреть на катастрофы, и 50 000 зрителей заплатили за право насладиться зрелищем крушения. После того как топки были заправлены топливом, а дроссельные заслонки открыты и зафиксированы, локомотивы двинулись навстречу друг другу. В момент встречи их относительная скорость составляла 145 км/ч.

Оказаться рядом со столкнувшимися локомотивами, чья кинетическая энергия трансформировалась в кинетическую энергию разлетевшихся обломков, — все равно что побывать на месте взрыва средней мощности. В результате несколько зрителей было убито разлетевшимися обломками, сотни ранены. Но остальные зевачи, вероятно, посчитали, что не зря потратили деньги.

#### 1.14 • УДАР СЗАДИ И ТРАВМА ШЕЙНЫХ ПОЗВОНКОВ

Когда в задний бампер машины въезжает едущая следом машина, сидящий в передней машине нередко получает травму шеи. Инженеры и медики-исследователи долго пытались объяснить этот феномен. В 1970-е годы они наконец пришли к заключению, что травма возникает из-за того, что голова сидящего в передней машине, находящаяся над спинкой кресла, держится назад при рывке машины вперед. Это получило название хлыстовой травмы. Шея сильно растягивается при резком разгибании, а затем сильно сжимается при последующем резком сгибании головы. В результате этих исследований у автомобильных кресел появились подголовники, но водители продолжали получать травмы шеи при ударах сзади. Из-за чего все-таки происходят эти травмы?

**ОТВЕТ** • Причиной хлыстовой травмы является то, что голова пассажира и его тело резко перемещаются относительно друг друга. Такое воздействие на шейный отдел позвоночника повреждает его, причем опасно перемещение в любую сторону.

### 1.15 • ПОВОРОТЫ НА ГОНОЧНОМ АВТОМОБИЛЕ

Скоростные гонки часто выигрываются благодаря правильным действиям пилота на поворотах, когда скорость уменьшается. Рассмотрим поворот на 90° на плоском треке «Формулы-1». Очевидно, что оптимальный способ прохождения поворота зависит от характеристик систем управления автомобилем, опыта и мастерства гонщика и качества трассы. Но стоит ли гонщику в принципе совершать поворот по круговой траектории? Такой выбор обычно предполагает, что время, затраченное на поворот, будет минимальным, но почему иногда этот выбор не является оптимальным? Почему пилоты, привыкшие к плоским трекам «Формулы-1», испытывают трудности в гонке «Индианаполис-500», где трасса на виражах наклонена? В частности, почему болид там заносит, когда он входит в поворот?

**ОТВЕТ** • Пилот-новичок совершает поворот по круговой траектории. Опытный гонщик вначале слегка поворачивает руль и при этом тормозит, затем поворачивает более резко, а потом едет по траектории с меньшей кривизной и при этом ускоряется. Поворот тогда занимает больше времени, но позволяет выйти на прямолинейный участок трассы на большей скорости, чем у пилота-новичка. Большая скорость на прямолинейном участке с лихвой компенсирует потерю времени на повороте.

Такая тактика имеет еще одно преимущество. Если поворот проходится слишком быстро, сила, приложенная к шинам, превысит предельную силу трения между шинами и покрытием, колеса начнут проскальзывать и машина потеряет управление. Чтобы не терялось сцепление с поверхностью трека, опытный гонщик сначала тормозит, а потом резко поворачивает. А так как остальная часть поворота — плавная, водитель может ускориться и при этом не потерять сцепление с дорогой.

Чутье опытного пилота «Формулы-1» подсказывает ему, как действовать на плоских поворотах. Но ощущения на наклонных виражах совсем иные, и гонщики «Формулы-1», вероятно, слишком поздно входят в поворот.

### 1.16 • ДОРОЖКИ ДЛЯ СПРИНТА

Почему обычно одну и ту же дистанцию на прямолинейных дорожках бегуны преодолевают быстрее, чем на искривленных? Если треки плоские и овальные, почему бегун на внешней дорожке имеет преимущество перед бегуном на внутренней дорожке, даже если дистанции на обеих дорожках одинаковы? Почему скорость на таких дорожках зависит от формы овала?

**ОТВЕТ** • Входя в поворот, бегун замедляется, выходя из него — опять разгоняется до своей скорости на прямолинейном участке. Для того чтобы поворот стал возможен, должна возникнуть центростремительная сила, направленная к центру поворота. В данном случае центростремительная сила возникает за счет сил трения между подошвами обуви бегуна и дорожкой. В результате действия этой направленной к центру поворота силы, приложенной к подошвам обуви, тело бегуна стремится отклониться наружу, его как бы откидывает по направлению от центра поворота. И для восстановления равновесия бегун замедляется, чтобы уменьшить действующие силы, и наклоняется внутрь поворота, чтобы противодействовать силам, стремящимся отклонить его наружу. Чем круче поворот, тем больше бегун должен замедлиться и наклониться внутрь. Поэтому тот, кто бежит по внешней дорожке (дорожке с меньшей кривизной), вообще говоря, имеет преимущество перед тем, кто бежит по внутренней дорожке (которая имеет большую кривизну).

Когда трек плоский и овальный, время пробега по всей дорожке во многом определяется временем прохождения поворотов. В принципе, на овальных треках большого радиуса развиваются большие скорости, чем на овальных треках малого радиуса, поскольку кривизна изогнутых участков на треках большого радиуса меньше, чем на треках малого радиуса. Лучший вариант (если это, конечно, не прямолинейный трек) — окружность. У нее кривизна наименьшая.

### 1.17 • ИЛЛЮЗИЯ ЗАДИРАНИЯ НОСА САМОЛЕТА ПРИ ВЗЛЕТЕ

Реактивный самолет, взлетая с палубы авианосца, приводится в движение мощными двигателями, при этом он выталкивается вперед с помощью катапульты, установленной на палубе. Результирующее огромное ускорение позволяет самолету достичь скорости отрыва на коротком расстоянии, равном длине палубы. Однако это же высокое ускорение вызывает у пилота

желание резко опустить нос самолета вниз, когда самолет отрывается от палубы. Пилоты натренировались не обращать внимания на это желание, но иногда самолет после взлета врежется прямо в океан. В чем причина этого эффекта?

**ОТВЕТ** • Ощущение вертикальности у человека зависит от визуальных ориентиров и вестибулярного аппарата, расположенного во внутреннем ухе. Рецепторами этого аппарата являются волосковые клетки с выступающими ресничками, которые погружены в студенистую жидкость. Когда вы держите голову прямо, жидкость находится в покое и волоски клеток располагаются вертикально вдоль направления действующей на вас силы тяжести; система посылает в мозг сигнал о том, что вы держите голову вертикально. Когда вы откидываете голову назад, жидкость смещается, изгибая волоски, и рецепторы посылают в мозг сигнал о том, что голова

отклонилась от вертикали. Аналогично, при горизонтальном ускорении положение волосков в жидкости изменяется, и рецепторы сообщают, что вы движетесь вперед. В этом случае сигналы, поступающие в мозг от рецепторов, оказываются теми же, что и при отклонении головы назад, что не соответствует действительности. Однако ошибочные сигналы игнорируются мозгом, если визуальные подсказки говорят, что никакого наклона нет. То же самое происходит, например, когда вы разгоняетесь в автомобиле. У пилота, резко разгоняющего самолет ночью на палубе авианосца, почти нет визуальных ориентиров. Поэтому у него возникает очень убедительная иллюзия, что наклон реален. В результате пилоту кажется, что самолет отрывается от палубы с высоко задранном носом. Без специальной тренировки он будет стараться выровнять самолет, опуская его нос резко вниз, и направит самолет в океан.

#### КОРОТКАЯ ИСТОРИЯ

##### 1.18 • РЕЙС 143 «ЭЙР КАНАДА»

Двадцать третьего июля 1983 года рейс 143 компании «Эйр Канада» готовили к длительному перелету из Монреала в Эдмонтон, и экипаж запросил у наземных служб информацию о том, сколько топлива заправлено в баки. Пилотам было известно, что для полета на борту должно быть 22 300 кг топлива. Они знали эту цифру в килограммах, поскольку Канада недавно перешла на метрическую систему мер (до этого вес топлива измерялся в фунтах). Но на земле могли измерять количество топлива только в литрах. Техники сообщили: заправлено 7682 л. Чтобы понять, сколько топлива на борту и сколько еще не хватает, пилоты попросили назвать коэффициент, позволяющий пересчитать литры топлива в килограммы. Им было сказано, что этот коэффициент равен 1,77. Его-то они и использовали, посчитав, что 1 л топлива весит 1,77 кг. Получилось, что заправлено 13 597 кг топлива и для дозаправки необходимо еще 4917 л.

К сожалению, заправщики ошиблись: по старой привычке, возникшей еще до перехода на метрическую систему, они сообщили коэффициент, переводящий литры горючего в фунты, а не в килограммы (1 литр весит 1,77 фунта). Фактически на борту топлива было всего 6172 кг, и требовалось добавить еще 20 075 л. Следовательно, когда рейс 143 вылетел из Монреала, на его борту было всего 45% топлива, необходимого для перелета.

По пути в Эдмонтон на высоте 7,9 км топливо кончилось, и самолет начал падать. Хотя тяги вообще не было, пилоты ухитрились перевести самолет в режим планирования и начать спуск. Ближайший действующий аэропорт был слишком далеко, и добраться до него планируя было невозможно, поэтому они направили самолет на старый заброшенный военный аэродром.

К несчастью, взлетная полоса этого аэродрома была переделана в трассу для автогонок и поперек трассы был установлен стальной разделительный барьер. К счастью, когда самолет ударился о взлетную полосу, переднее шасси отлетело, а нос самолета свалился на взлетную полосу. Маневр, называемый «скольжение на крыло», затормозил самолет, так что он остановился совсем близко от стального барьера, из-за которого за ним наблюдали ошеломленные гонщики и болельщики. Все находившиеся на борту благополучно покинули самолет. Вывод: если не указаны единицы измерения, любые цифры остаются просто цифрами, которые ничего не значат.