

# Содержание

<b>Слова благодарности</b>	17
<b>Обращение к читателю</b>	18
<b>Глава 1. Сила и движение</b>	21
Цели главы	21
Скорость	22
Ускорение	22
Ускорение свободного падения	23
Уравнения ускорения	25
Скорость — векторная величина	26
Использование векторов — баллистическое движение	28
Сложение сил — еще одно использование векторов	29
Математические методы сложения векторов ( <i>факультативно</i> )	29
Тест для самопроверки	33
Ответы	34
<b>Глава 2. Законы движения Ньютона</b>	35
Цели главы	35
Масса и инерция: первый закон Ньютона	36
Второй закон Ньютона	36
Ускорение как вектор	37
Единицы, используемые во втором законе Ньютона	39
Масса и вес	39
Еще раз о гравитации	40
Равновесная скорость	41
Круговое движение	42
Третий закон Ньютона (последний!)	43

Третий закон Ньютона во время ускорения	44
Тест для самопроверки	45
Ответы	46
<b>Глава 3. Сохранение количества движения и энергии</b>	<b>47</b>
Цели главы	47
Количество движения	48
Сохранение количества движения	49
Столкновения	51
Задачи на тему количества движения	53
Трение и Земля	55
Работа	55
Мощность	56
Потенциальная энергия	57
Кинетическая энергия	59
Сохранение энергии	60
Энергия в столкновениях	62
Еще примеры расчетов энергии ( <i>факультативно</i> )	62
Тест для самопроверки	63
Ответы	64
<b>Глава 4. Всемирное тяготение</b>	<b>67</b>
Цели главы	67
Закон всемирного тяготения	68
Луна и сила тяжести	70
Законы Кеплера	71
Объяснение Ньютона для второго закона Кеплера	72
Третий закон Кеплера ( <i>факультативно</i> )	73
Спутники Земли	74
Невесомость	74
Вычисления ( <i>факультативно</i> )	75
Тест для самопроверки	76
Ответы	77
<b>Глава 5. Атомы и молекулы</b>	<b>79</b>
Цели главы	79
Элементы и соединения	80

Атомы и молекулы	83
Периодическая таблица элементов	86
Электронные орбиты	87
Атомные массы	89
Число Авогадро	89
Задачи ( <i>факультативно</i> )	90
Тест для самопроверки	91
Ответы	92
<b>Глава 6. Твердые тела</b>	<b>95</b>
Цели главы	95
Атомы в твердом теле	96
Плотность	96
Удельный вес	98
Давление	99
Упругость и закон Гука	100
Тест для самопроверки	102
Ответы	102
<b>Глава 7. Жидкости и газы</b>	<b>105</b>
Цели главы	105
Молекулы в жидкости	106
Давление в жидкости	106
Плавучесть	107
Закон Паскаля	110
Молекулы в газах	111
Диффузия в жидкостях и газах	111
Давление в газах	112
Барометр	114
Плавучесть в газах	116
Обзор материала о твердых телах, жидкостях и газах	117
Тест для самопроверки	117
Ответы	118
<b>Глава 8. Температура и тепло</b>	<b>121</b>
Цели главы	121
Температурная шкала Фаренгейта	122

Температурная шкала Цельсия	122
Шкала Кельвина	123
Температурное расширение: термометры	124
Температура, внутренняя энергия и тепло	127
Калория	128
Британская тепловая единица	129
Удельная теплоемкость	129
Тест для самопроверки	131
Ответы	132
<b>Глава 9. Изменение агрегатного состояния и теплопередача</b>	<b>133</b>
Цели главы	133
Плавление: теплота плавления	134
Теплота испарения	135
Передача тепла: теплопроводность	137
Конвекция	139
Излучение	140
Тест для самопроверки	141
Ответы	142
<b>Глава 10. Волновое движение</b>	<b>143</b>
Цели главы	143
Период маятника	144
Зависимость между длиной и периодом ( <i>факультативно</i> )	144
Частота	145
Волны	146
Зависимость между переменными	147
Поперечные и продольные волны	148
Передача энергии	150
Эффект Доплера	150
Тест для самопроверки	152
Ответы	153
<b>Глава 11. Звук</b>	<b>155</b>
Цели главы	155
Звуковые волны	156
Скорость звука	157

Диапазон частот и длин волны	158
Интенсивность (сила) звука	159
Децибельная шкала	160
Расчеты силы звука ( <i>факультативно</i> )	160
Уменьшение интенсивности звука с расстоянием	161
Резонанс	162
Рефракция	163
Тест для самопроверки	164
Ответы	165
<b>Глава 12. Дифракция, интерференция и музыка</b>	<b>167</b>
Цели главы	167
Громкость	168
Дифракция звука	168
Интерференция	169
Биения	171
Высота звука	173
Качество звука	173
Стоячие волны на струне	175
Стоячие волны в газе	177
Эффект Доплера в звуке	178
Звуковой удар	179
Тест для самопроверки	180
Ответы	181
<b>Глава 13. Статическое электричество</b>	<b>183</b>
Цели главы	183
Закон Кулона	184
Расчеты с использованием закона Кулона ( <i>факультативно</i> )	185
Электрическое поле	186
Расчет электрических полей с помощью закона Кулона ( <i>факультативно</i> )	188
Заряжание трением: трибоэлектрический ряд	189
Диэлектрики и проводники	190
Электроскоп	190
Заряжание индукцией	192
Тест для самопроверки	193

Ответы	194
<b>Глава 14. Электрический ток</b>	197
Цели главы	197
Поток электрического заряда	198
Батареи и электрическое напряжение	199
Закон Ома	201
Соединение батарей последовательно и параллельно	202
Соединение сопротивлений последовательно и параллельно	204
Последовательно или параллельно: домашняя электропроводка	206
Переменный ток	207
Рассеивание энергии в сопротивлении	208
Расчеты в СИ	209
Тест для самопроверки	210
Ответы	211
<b>Глава 15. Магнетизм и магнитные эффекты тока</b>	213
Цели главы	213
Магнитные поля	214
Поля, созданные токами	216
Расчеты индукции магнитного поля ( <i>факультативно</i> )	217
Магнитные поля, созданные током в витках и соленоидах	218
Расчеты магнитного поля соленоида ( <i>факультативно</i> )	219
Причина магнетизма	219
Электроизмерительные приборы	220
Электрические двигатели	221
Тест для самопроверки	223
Ответы	224
<b>Глава 16. Электрическая индукция</b>	225
Цели главы	225
Токонесущий провод в магнитном поле	226
Наведение тока	228
Катушка и магнит	229
Правило Ленца	230
Две катушки: трансформатор	231
Напряжение и мощность в трансформаторе	233

Самоиндукция	234
Тест для самопроверки	235
Ответы	236
<b>Глава 17. Электромагнитные волны</b>	<b>237</b>
Цели главы	237
Создание радиоволн	238
Электромагнитный спектр	242
Тест для самопроверки	243
Ответы	244
<b>Глава 18. Свет: волна или частица?</b>	<b>245</b>
Цели главы	245
Галилей и скорость света	246
Измерение Ремера	246
Метод Майкельсона	248
Принцип Гюйгенса	249
Корпускулы Ньютона	250
Электромагнитные волны	250
Фотоэлектрический эффект	252
Электромагнитная теория и фотоэлектрический эффект	254
Эфир	255
Опыт Майкельсона–Морли	256
Выводы	259
Тест для самопроверки	260
Ответы	261
<b>Глава 19. Квантовая природа света</b>	<b>263</b>
Цели главы	263
Излучение абсолютно черного тела и электромагнитная теория	264
Квантовая гипотеза Планка	266
Эйнштейн о фотоэлектрическом эффекте	267
Модель атома Бора	269
Излучение света	270
Возбуждение атомов	273
Типы ламп	277
Фосфоресценция	280

Лазер	280
Тест для самопроверки	282
Ответы	283
<b>Глава 20. Отражение, рефракция и дисперсия</b>	<b>285</b>
Цели главы	285
Отражение	286
Рефракция (преломление)	289
Расчет углов преломления ( <i>факультативно</i> )	292
Полное внутреннее отражение	296
Количественный подход ( <i>факультативно</i> )	298
Атмосферная рефракция: закат	299
Мираж	300
Дисперсия (разложение света)	300
Радуга	301
Тест для самопроверки	302
Ответы	303
<b>Глава 21. Линзы и приборы</b>	<b>305</b>
Цели главы	305
Линзы	306
Уравнение производителя линз ( <i>факультативно</i> )	308
Изображения	309
Увеличение	312
Расчеты изображения ( <i>факультативно</i> )	313
Мнимые изображения: увеличительное стекло	313
Расчеты расстояний мнимого изображения ( <i>факультативно</i> )	315
Рассеивающие линзы	316
Расчеты для рассеивающих линз ( <i>факультативно</i> )	317
Камера	317
Глаз	318
Проектор	320
Микроскоп	321
Телескоп	322
Тест для самопроверки	323





# 7

---

## Жидкости и газы

*Обязательный предыдущий материал: главы 5 и 6.*

Из трех состояний материи — твердое, жидкое и газообразное — жидкости и газы считаются текучей средой. Хотя в обычном языке мы часто считаем текучими только жидкости, в физике газы тоже относятся к текучей среде, поскольку газы и жидкости во многих ситуациях ведут себя похоже.

---

### Цели главы

Закончив эту главу, вы сможете:

- сравнивать жидкости и газы с твердыми телами по молекулярному притяжению и организации;
- рассчитывать давление на заданной глубине в заданной жидкости;
- сравнивать жидкости с твердыми телами по упругости;
- использовать закон Архимеда для вычисления выталкивающей силы, действующей на заданное тело в заданной текучей среде;
- рассчитывать глубину, на которой заданный объект будет плавать в заданной текучей среде;
- использовать закон Паскаля для демонстрации того, как давление передается в жидкости;
- сравнивать скорости диффузии в жидкостях и газах и использовать кинетическую теорию для объяснения разницы;
- рассчитывать полную силу, действующую на данный объект вследствие атмосферного давления;
- выражать атмосферное давление в “миллиметрах ртутного столба”;

- по давлению удерживаемого газа определять количество молекул и их среднюю скорость.

## 1 Молекулы в жидкости

Жидкость отличается от твердого тела тем, что жидкость течет и, начиная с дна, заполняет емкость до образования поверхности уровня. В твердом теле молекулы удерживаются на определенных местах в упорядоченной структуре (хотя могут колебаться вокруг центрального положения), тогда как в жидкости молекулы свободно движутся вокруг друг друга. На самом деле в жидкости тоже действует сила между соседними молекулами, и это подтверждается теми фактами, что молекулам сложно покинуть поверхность и что жидкость не очень легко сжать. Если приложить достаточную силу, чтобы удалось сжать жидкость, то после устранения силы сразу же восстанавливается начальный объем жидкости.

- а) Молекулы в жидкости расположены упорядоченно или произвольно?  
\_\_\_\_\_
- б) Молекулы в жидкости связаны сильнее или слабее, чем в твердом теле?  
\_\_\_\_\_
- в) В общем, жидкости упругие или неупругие? \_\_\_\_\_

.....

**Ответы:** а) произвольно; б) слабее; в) упругие (см. главу 6, раздел 9).

## 2 Давление в жидкости

Большинство из нас ощущают повышенное давление в ушах, когда мы ныряем на глубину в бассейне. Давление в жидкости растет с ростом глубины, а рассчитать его можно по следующей простой формуле:

$$\text{давление} = \text{глубина} \cdot \text{весовая плотность.}$$

- а) Чему равно давление воды на глубине 3 метра (весовая плотность воды равна  $1 \text{ гс/см}^3$ )? \_\_\_\_\_
- б) Чему равно это давление в единицах “килограмм-сила на квадратный сантиметр” и “ньютон на квадратный сантиметр”? \_\_\_\_\_

.....

**Ответы:** а)  $300 \text{ гс/см}^2$  ( $300 \text{ см} \cdot 1 \text{ гс/см}^3$ ); б)  $0,3 \text{ кгс/см}^2$ ;  $2,94 \text{ Н/см}^2$ .

## 3

Предположим, что площадь барабанной перепонки в ухе человека составляет  $\frac{1}{4} \text{ см}^2$  ( $\frac{1}{2} \text{ см}$  на  $\frac{1}{2} \text{ см}$ ).

Рассчитайте силу, действующую на перепонку, если вы нырнули на 3 метра.

.....  
**Ответ:** 0,075 килограмм-сила. ( $0,3 \text{ кгс/см}^2 \cdot 0,25 \text{ см}^2$ ) (Тот факт, что мы способны ощущать столь малую силу, говорит о высокой чувствительности наших барабанных перепонок.)

4

В единицах СИ плотность выражается как  $\text{кг/м}^3$ . Но это массовая плотность, поэтому для получения давления нельзя просто умножить плотность на глубину. Сначала надо рассчитать весовую плотность. Вспомним, что тело массой 1 кг имеет вес 9,8 ньютона\*, и что в обычных условиях для получения веса в ньютонах мы умножаем массу на 9,8. Следовательно, весовая плотность воды (массовая плотность которой составляет  $1000 \text{ кг/м}^3$ ) равна  $9800 \text{ Н/м}^3$ . Теперь рассчитаем давление на глубине 5 метров в емкости со спиртом (удельный вес которого составляет 0,8).

- а) Чему равна массовая плотность спирта? \_\_\_\_\_  
 б) Чему равна весовая плотность спирта? \_\_\_\_\_  
 в) Чему равно давление на глубине 5 метров в спирте? \_\_\_\_\_  
 г) Один квадратный метр равен 10 000 квадратных сантиметров. Чему равно найденное давление в  $\text{Н/см}^2$ ? \_\_\_\_\_

.....  
**Ответы:** а)  $800 \text{ кг/м}^3$  (см. главу 6, раздел 2); б)  $7840 \text{ Н/м}^3$ ; в)  $39\,200 \text{ Н/м}^2$ ; г)  $3,92 \text{ Н/см}^2$ .

## 5 Плавучесть

Рассмотрим кубический дециметр воды ( $1 \text{ дм}^3$  — это куб со стороной 10 см, или один литр) в бассейне, заполненном водой. (Например, можно представить себе куб из тонкой папиросной бумаги.) Вода в кубе весит ровно 1 килограмм-сила. Мы знаем из ежедневного опыта, что вода в воде не тонет; действительно, наш куб воды остается в толще окружающей воды на месте. Но, чтобы куб весом 1 кгс не тонул, а оставался на месте, на него должна действовать *направленная вверх* сила величиной ровно 1 кгс. Если бы удалось каким-нибудь образом из нашего тонкостенного куба удалить воду и закачать

\*Если вы еще не изучили главу 2, то сейчас вам достаточно только узнать, что ньютон (Н) — это единица силы в Международной системе единиц СИ. Подробнее см. разделы 1, 2, 5, 7 и 8 главы 2.

вместо нее другое вещество, то на куб со стороны окружающей воды все равно действовала бы направленная вверх сила 1 кгс. Эту направленную вверх силу называют *выталкивающей силой*, и пример с кубом в бассейне иллюстрирует общее правило, определяющее величину выталкивающей силы.

На тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной жидкости.

Этот принцип, известный как **закон Архимеда**, достаточно важен и заслуживает нескольких примеров.

Предположим, в воду полностью погрузили кубический дециметр стали (вес: 7,8 кгс).

- а) Какая выталкивающая сила воды действует на стальное тело такого объема? \_\_\_\_\_
- б) В таком случае, чему равен кажущийся вес стального тела? (Другими словами, какую силу нужно приложить, чтобы поднять стальное тело под водой?) \_\_\_\_\_

.....  
**Ответы:** а) 1 кгс; б) 6,8 кгс (7,8 кгс – 1 кгс).

(Обратите внимание, что, хотя давление на большей глубине тоже больше, выталкивающая сила не зависит от глубины. Вам не нужно думать над тем, на какой глубине находится стальное тело; важно лишь то, что оно полностью погружено в воду.)

**6**

Кубический дециметр сосновой древесины весит приблизительно 480 граммов-сила. Если бы сосновый брусок такого объема полностью погрузили в воду, то действующая на него выталкивающая сила все равно была бы равна 1 кгс (1000 гс). Но поскольку выталкивающая сила больше веса соснового бруска, то брусок не останется под водой, если его там не удерживают. Рассчитаем, какая часть объема плавающего на поверхности бруска останется погруженной в воду. Очевидно, что под водой окажется такой частичный объем бруска, на который будет действовать выталкивающая сила, равная весу всего бруска.

- а) Чему равен вес воды, которую должен вытеснить сосновый брусок весом 480 граммов-сила, чтобы плавать на поверхности? \_\_\_\_\_
- б) Чему равен объем воды такого веса? \_\_\_\_\_
- в) Какой объем плавающего на поверхности воды соснового бруска останется под водой? \_\_\_\_\_

.....  
**Ответы:** а) 480 гс; б) 0,48 дм<sup>3</sup> (480 гс/ 1000 гс/дм<sup>3</sup>); в) 480 см<sup>3</sup>.

7

В общем, всегда можно определить, какая часть плавающего на поверхности жидкости объекта находится под водой. Для этого нужно поделить плотность объекта на плотность жидкости.

- а) Чему равна плотность древесины в предыдущем разделе? \_\_\_\_\_
- б) Каков результат деления плотности древесины на плотность воды? \_\_\_\_\_
- в) Предположим, на поверхности воды плавает кусок дубовой древесины, и 62% ее объема находится в воде. Чему равна плотность дубовой древесины? \_\_\_\_\_

.....  
**Ответы:** а) 480 гс/дм<sup>3</sup> (потому что кубический дециметр (дм<sup>3</sup>) весит 480 гс); б) 0,48 (поскольку рассматривался объем древесины 1 дм<sup>3</sup>, то ответ численно такой же, как в ответе б в предыдущем разделе); в) 620 кг/м<sup>3</sup> (результат умножения 0,62 на плотность воды, 1000 кг/м<sup>3</sup>).

8

Как и при расчете давления, при расчете плавучести (выталкивающей силы) мы тоже должны использовать весовую плотность, а не массовую плотность. Определим кажущийся вес опущенного в воду куска алюминия объемом 5 см<sup>3</sup> — приблизительно размер карандаша. (Удельный вес алюминия равен 2,7.)

- а) Чему равна весовая плотность алюминия в Н/м<sup>3</sup>? \_\_\_\_\_
- б) Чему равна весовая плотность алюминия в Н/см<sup>3</sup>? \_\_\_\_\_
- в) Сколько весит этот кусок алюминия? \_\_\_\_\_
- г) Чему равна весовая плотность воды в единицах СИ? \_\_\_\_\_
- д) Преобразуйте эту величину в Н/см<sup>3</sup>. \_\_\_\_\_
- е) Чему равна выталкивающая сила, действующая на кусок алюминия объемом 5 см<sup>3</sup>? \_\_\_\_\_
- ж) Чему равен кажущийся вес этого алюминия в воде? \_\_\_\_\_

.....  
**Ответы:** а) 26 500 Н/м<sup>3</sup> (2700 кгс/м<sup>3</sup>·9,8 Н/кгс); б) 0,0265 Н/см<sup>3</sup> (в кубическом метре (м<sup>3</sup>) содержится 10<sup>6</sup> кубических сантиметров (см<sup>3</sup>)); в) 0,133 Н (0,0265 Н/см<sup>3</sup>·5 см<sup>3</sup>); г) 9800 Н/м<sup>3</sup>; д) 0,0098 Н/см<sup>3</sup>; е) 0,049 Н (вес 5 см<sup>3</sup> воды); ж) 0,084 Н (0,133 Н – 0,049 Н).

## 9 Закон Паскаля

Если к жидкости в замкнутой емкости приложить дополнительное давление, то это давление передается в любую точку жидкости без изменений. Этот принцип — **закон Паскаля** — легче всего понять на примере. На рис. 7.1 показан заполненный водой контейнер с двумя отверстиями, и в каждом находится плотно прилегающий подвижный поршень. Отверстия и, следовательно, поршни имеют разные площади: левый —  $10 \text{ см}^2$ , правый —  $30 \text{ см}^2$ . Жидкость под поршнями находится на одной высоте, поэтому под обоими поршнями одно и то же давление. (Мы помним, что давление зависит от глубины и плотности жидкости.)

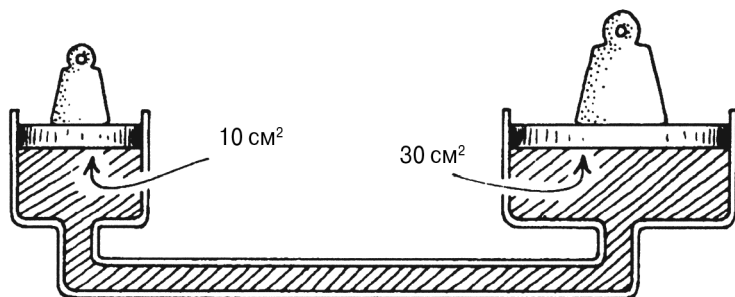


Рис. 7.1.

Предположим, на левый поршень мы поставили груз весом 8 ньютонов. Груз какого веса нужно поставить на правый поршень, чтобы уравновесить груз слева? Для ответа на этот вопрос мы должны рассчитать избыточное давление на жидкость вследствие появления груза на левом поршне. Оно равно  $8 \text{ Н}/10 \text{ см}^2$ , или  $0,8 \text{ Н}/\text{см}^2$ . Согласно закону Паскаля это давление оказывается во всех точках жидкости, включая и поршень справа. Но площадь этого поршня  $30 \text{ см}^2$ , поэтому сила, оказываемая на правый поршень в результате избыточного давления воды, равна  $0,8 \text{ Н}/\text{см}^2 \cdot 30 \text{ см}^2$ , или 24 ньютона. Значит, чтобы уравновесить вес 8 ньютонов, находящийся на левом поршне, на правый нужно поставить вес 24 ньютона.

Обратите внимание, что соотношение весов такое же, как соотношение площадей поршней: поскольку поршень справа имеет втрое большую площадь, то к правому поршню нужно приложить и втрое большую силу, чтобы уравновесить силу слева.

В гидравлическом домкрате использованы два поршня, соединенных, в принципе, так же, как на рисунке. С помощью гидравлического домкрата можно поднимать очень тяжелые предметы, потому что два поршня домкрата имеют очень разные площади.

- а) Предположим, мы положили на левый поршень груз массой 50 кг. Какую массу нужно положить на правый поршень, чтобы уравновесить груз слева? \_\_\_\_\_
- б) Используя гидравлический домкрат, на какой поршень (меньший или больший) должен давить человек? \_\_\_\_\_

.....  
**Ответы:** а) 150 кг; б) на меньший.

## 10 Молекулы в газах

Большинство из нас знакомы с тем фактом, что когда жидкость преобразуется в газ (например, когда кипит вода), то газ занимает гораздо больше места, чем жидкость. Это происходит потому, что молекулы газа гораздо больше удалены друг от друга, чем молекулы жидкости. На самом деле молекулы газа вообще не связаны никакими силами, а просто свободно летают в пространстве. Они воздействуют силой друг на друга только при столкновениях. Когда две молекулы сталкиваются, они отскакивают друг от друга и продолжают свободный полет до следующего столкновения.

Эта модель газа, называемая *кинетической теорией*, согласуется с рядом ежедневных наблюдений касательно газов. Приведем примеры.

- а) Что легче сжать — жидкости или газы? \_\_\_\_\_
- б) Как вы думаете, у чего меньше плотность — у жидкостей или газов? \_\_\_\_\_

.....  
**Ответы:** а) газы (потому что между молекулами газа есть пространство); б) у газов (потому что пустое пространство между молекулами никак не увеличивает вес).

## 11 Диффузия в жидкостях и газах

*Диффузией* называется взаимное перемешивание молекул веществ вследствие беспорядочного движения молекул. Молекулы одной жидкости довольно медленно проникают в другую жидкость. Предположим, вы осторожно капнули пищевым красителем на дно стакана с водой. Это можно сделать пипеткой. Если стакан остается в покое достаточно долго, чтобы вода не взбалтывалась, то вы увидите, что цвет постепенно распространяется в воде. Но пройдут часы, или даже дни, прежде чем краситель полностью распространится по всей воде.



Теперь рассмотрим диффузию одного газа в другом. Если в одном углу комнаты разлить немного нашатырного спирта, то уже скоро запах аммиака почувствуется посредине комнаты, а еще через некоторое время — по всей комнате. Этот запах просто является результатом проникновения молекул аммиака в ваш нос. За несколько минут молекулы аммиака распространяются в воздухе на 3–6 метров.

- а) Какая диффузия происходит быстрее — жидкости в жидкости или газа в газе? \_\_\_\_\_
- б) Что конкретно происходит при диффузии? \_\_\_\_\_
- в) Почему благодаря большому расстоянию между молекулами газа диффузия в газе происходит быстрее, чем диффузия в жидкости? \_\_\_\_\_

.....

**Ответы:** а) газа в газе; б) молекулы одного вещества движутся между молекулами другого вещества; в) в газе достаточно места между молекулами, чтобы между ними свободно проходили другие молекулы. Но не так обстоят дела в жидкости: здесь молекулы вынуждены толкаться друг с другом.

## 12 Давление в газах

Газы легче сжимаются, чем жидкости. Но если между молекулами газа так много свободного места, то почему вообще требуются усилия для сжатия газа? Почему газы создают давление? Рассмотрим слепых шмелей, летающих в товарном вагоне. Такие шмели (при условии, что им не хватит ума приземлиться) будут непрерывно ударяться о стены вагона. Каждое столкновение приводит к очень небольшому удару о стену, но если в вагоне достаточно много шмелей, то легко себе представить, что суммарная сила, воздействующая на стену, окажется значительной, и к тому же при столь частых столкновениях выделить отдельные удары будет невозможно. В результате получится постоянная сила. Именно это происходит в газе. Молекулы, конечно, невообразимо меньше шмелей, но их количество невообразимо больше, чем количество насекомых в вагоне, и поэтому их частые столкновения со стенами контейнера производят постоянную силу.

Как и в случае с жидкостями, обычно удобнее говорить о давлении (сила, деленная на площадь), которое создается газом, чем о полной силе воздействия.

- а) Предположим, количество молекул газа в закрытом контейнере возросло. Как изменится давление газа — возрастет или уменьшится? \_\_\_\_\_

- б) В главе 8 мы увидим, что повышение температуры газа повышает среднюю скорость молекул. Допустим, температура газа в закрытом контейнере выросла. Как это повлияет на давление? \_\_\_\_\_

.....  
**Ответы:** а) возрастет (потому что теперь больше молекул будет ударяться о стены); б) давление возрастет (по двум причинам: 1) каждое столкновение со стенкой теперь сопровождается большей силой удара о стенку; 2) молекулы начнут чаще сталкиваться со стенками).

13

Самое знакомое нам давление газа — это атмосферное давление. Из-за огромного количества воздуха над нами атмосфера давит на каждый квадратный сантиметр поверхности на уровне моря с силой около 1 килограмм-сила. Вытяните горизонтально перед собой свою руку ладонью вверх. Площадь ладони равна приблизительно 130 квадратных сантиметров.

- а) С какой силой, направленной вниз, атмосфера давит на вашу ладонь? \_\_\_\_\_

- б) Но воздух под вашей рукой давит на ладонь вверх. С какой силой, направленной вверх, атмосфера давит на вашу ладонь? \_\_\_\_\_

.....  
**Ответы:** а) 130 кгс ( $1 \text{ кгс/см}^2 \cdot 130 \text{ см}^2$ ); б) 130 кгс.

(Рука не сплющивается этими двумя силами, потому что мы растем при постоянном воздействии атмосферы на нас, и на нашу плоть воздействует равное давление изнутри, которое производят жидкости и твердые ткани нашего тела.)

14

В метрических единицах стандартное атмосферное давление равно  $101\,000 \text{ Н/м}^2$ , или  $1,01 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ .

- а) С какой силой (в ньютонах) атмосфера давит на крышку письменного стола с размерами 1,5 м на 1,0 м? \_\_\_\_\_

- б) Почему атмосфера не раздавит письменный стол? \_\_\_\_\_

.....  
**Ответы:** а) 152 000 Н; б) потому что на нижнюю сторону крышки стола атмосфера действует с такой же силой, но направленной вверх.

15

Давление в газе (как и в жидкости) возрастает по мере все большего погружения в газ. Вспомните, что в жидкости при удвоении глубины погружения удваивается и давление. Однако для атмосферного давления не все так просто. (Хотя бы вот почему: где находится “поверхность” атмосферы, от которой можно было бы отсчитывать “глубину

погружения”?) Плотность жидкости одинакова во всей массе жидкости, тогда как плотность атмосферы падает при удалении вверх от поверхности земли. Поэтому и вес атмосферных газов над головой человека не меняется каким-либо прямым образом при увеличении высоты над уровнем моря. Но изменение атмосферного давления при изменении высоты ощущается в тех случаях, когда мы быстро едем на автомобиле вверх или вниз по длинному холму, а еще больше ощущается при подъеме или спуске на самолете. В наших ушах ощущается такой же дискомфорт, как в случае слишком глубокого ныряния в бассейне.

Указанное выше атмосферное давление,  $1,01 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ , является средним атмосферным давлением на уровне моря.

- а) Как вы думаете, на вершине какой-нибудь горы атмосферное давление будет больше или меньше, чем на уровне моря? \_\_\_\_\_
- б) Как вы думаете, на вершине горы плотность воздуха будет больше или меньше, чем на уровне моря? \_\_\_\_\_

.....

**Ответы:** а) меньше; б) меньше.

## 16 Барометр

Барометр — это прибор для измерения атмосферного давления. Основной тип барометра показан на рис. 7.2. Длинная трубка, запаянная с одного конца,

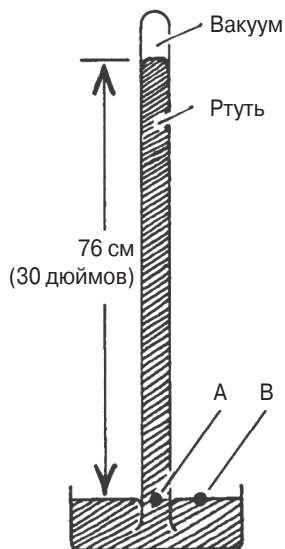


Рис. 7.2.

заполнена ртутью и открытым концом опущена в емкость с ртутью. Ртуть не остается на месте в верхней части трубки, а опускается, в результате чего в верхней части трубки образуется вакуум. Уровень ртути в трубке опускается приблизительно до отметки 76 см над емкостью с ртутью, если емкость находится на уровне моря, причем длина трубки, даже если она намного больше 76 см, значения не имеет.

Ртуть не выливается из трубки потому, что атмосфера давит на поверхность емкости с ртутью, а ртуть в емкости, в свою очередь, давит вверх на столб ртути в трубке. Атмосферное давление способно удерживать ртуть в трубке до такой высоты, чтобы давление в точке А, созданное столбом ртути, было равно атмосферному давлению. (Давление в точке А должно равняться давлению в точке В, потому что эти две точки находятся на одном уровне.) Рассчитаем давление,

создаваемое столбом ртути высотой 76 см. Массовая плотность ртути равна  $13\,600\text{ кг/м}^3$ ; значит, весовая плотность равна  $133\,000\text{ Н/м}^3$ .

а) Напишите формулу для давления в жидкости на определенной глубине.

\_\_\_\_\_

б) Чему равно давление в ртути на глубине 76 см? \_\_\_\_\_

в) Если столб ртути в барометре находится на отметке 74 см, то это означает большее или меньшее давление? \_\_\_\_\_

.....  
**Ответы:** а) давление = глубина·плотность; б)  $1,01 \cdot 10^5\text{ Н/м}^2$  ( $133\,000\text{ Н/м}^3 \times 0,76\text{ м}$ ); в) меньшее.

**17**

Упомянув атмосферное давление, мы в быту не употребляем такие единицы измерения, как ньютон на квадратный метр и их производные, а используем “миллиметры (или сантиметры) ртутного столба”, причем с научной точки зрения правильно говорить не “сегодня атмосферное давление равно 74 см”, а “сегодня атмосферное давление равно давлению в ртути на глубине 74 см”. Но в прогнозах погоды на телевидении время ограничено, поэтому диктор употребляет привычные зрителям короткие выражения.

Компактные барометры имеют герметичный контейнер с гибкой стенкой. Когда атмосферное давление возрастает, эта гибкая стенка вдавливается внутрь, а прикрепленный к ней рычаг поворачивает стрелку на шкале, расположенной на лицевой стороне барометра. Поскольку ртутные барометры раньше использовались повсеместно, то шкала компактных барометров обычно тоже калибрована в сантиметрах ртутного столба, хотя никакой ртути такие приборы не содержат.

а) Выразите давление 76,2 см ртутного столба в мм Hg (миллиметры ртутного столба). \_\_\_\_\_

б) Если атмосферное давление равно  $99\,000\text{ Н/м}^2$ , то каким будет показание ртутного барометра в сантиметрах? (*Примечание.* Весовая плотность ртути равна  $133\,000\text{ Н/м}^3$ .) \_\_\_\_\_

.....  
**Ответы:** а) 762 мм Hg;

б) 74,4 см.

*Решение:* давление = глубина·плотность

$$\begin{aligned} \text{глубина} &= \text{давление}/\text{плотность} = \\ &= \frac{99\,000\text{ Н/м}^2}{133\,000\text{ Н/м}^3} = \\ &= 0,744\text{ м} = 74,4\text{ см}. \end{aligned}$$

## 18 Плавучесть в газах

Согласно закону Архимеда, на объект, погруженный в текучую среду, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненного текучего вещества. Текучая среда — это не только жидкости, но и газы. Мы легче замечаем проявление выталкивающей силы в жидкостях, чем в газах, лишь потому, что плотность жидкостей гораздо больше, чем плотность газов. Соответственно, и вес вытесненной жидкости гораздо больше веса вытесненного газа для данного объекта. Например, весовая плотность воздуха на уровне моря приблизительно равна  $1,22 \text{ кгс/м}^3$ , а объем человека весом  $57 \text{ кгс}$  приблизительно равен  $0,057 \text{ м}^3$ .

- а) С какой выталкивающей силой атмосфера воздействует на этого человека? \_\_\_\_\_
- б) Какой была бы выталкивающая сила, окажись этот человек в воде? \_\_\_\_\_

**Ответы:** а)  $0,07 \text{ кгс}$ , или  $70 \text{ граммов-сила}$  ( $1,22 \text{ кгс/м}^3 \cdot 0,057 \text{ м}^3$ ); б)  $57 \text{ кгс}$  ( $1000 \text{ кгс/м}^3 \cdot 0,057 \text{ м}^3$ ). (Тот факт, что мы получили выталкивающую силу, равную весу человека, подтверждает наши жизненные наблюдения: люди в воде находятся в промежуточном состоянии между погружением и плаванием на поверхности.)

**19** Самым наглядным примером выталкивающей силы воздуха являются воздушные шары и дирижабли, наполненные гелием. Большой дирижабль может иметь объем десятки и даже сотни тысяч кубических метров. При весовой плотности воздуха  $1,22 \text{ кгс/м}^3$  дирижабль объемом  $25\,000 \text{ м}^3$  вытеснит окружающий воздух весом  $30\,500 \text{ кгс}$ . Чтобы воздушное судно объемом  $25 \text{ тыс. кубических метров}$  подняла выталкивающая сила воздуха, нужно выполнить всего лишь одно условие: вес всего судна — конструкции и закачанного газа — должен быть менее  $30\,500 \text{ килограммов-сила}$ . Добиться этого можно, используя газ с очень низкой плотностью. Наименьшую плотность имеет водород, но он очень взрывоопасный, поэтому и применяют гелий. Знаменитый дирижабль “Гинденбург” имел объем около  $198\,200 \text{ кубических метров}$  и был заполнен водородом; этот летательный аппарат взорвался и сгорел в 1937 году.

- а) Какой максимально допустимый вес мог бы иметь “Гинденбург”, чтобы все равно сохранять способность летать? \_\_\_\_\_
- б) Почему летят вверх воздушные шарики, наполненные горячим воздухом? \_\_\_\_\_

**Ответы:** а)  $241\,825 \text{ кгс}$ ; б) потому что плотность горячего воздуха меньше, чем плотность холодного воздуха.

## 20 Обзор материала о твердых телах, жидкостях и газах

В двух последних главах мы изучили три состояния материи и увидели сходства, а также различия. Из трех этих состояний — твердые тела, жидкости, газы — какие:

- а) имеют наименьшую плотность (в общем)? \_\_\_\_\_
- б) имеют самые жесткие молекулярные связи? \_\_\_\_\_
- в) больше всего поддаются сжатию? \_\_\_\_\_
- г) допускают диффузию? \_\_\_\_\_

**Ответы:** а) газы; б) твердые тела; в) газы; г) жидкости и газы. (Твердые тела тоже проникают в другие твердые тела благодаря диффузии, однако пройдут столетия, прежде чем станет заметен эффект, но даже и тогда этот эффект будет очень мал.)

### Тест для самопроверки

1. В чем разница между жидкостью и твердым телом в отношении связей между молекулами? \_\_\_\_\_
2. Как связаны давление, глубина и плотность в жидкости? \_\_\_\_\_
3. Рассчитайте давление на глубине 6 метров под поверхностью воды (плотность воды равна  $1000 \text{ кг/м}^3$ ). \_\_\_\_\_
4. Чему равно давление (в единицах СИ) на глубине 3 метра в спирте (удельный вес 0,80)? \_\_\_\_\_
5. Объем баскетбольного мяча около 14,7 литра (кубического дециметра). Если мяч погрузить в воду, какая выталкивающая сила будет действовать на него? \_\_\_\_\_
6. Строительный блок имеет размеры 30 см на 30 см на 60 см и весит 194 кгс. Каким будет его кажущийся вес под водой? \_\_\_\_\_
7. Удельный вес ртути 13,6. Какая выталкивающая сила действует на тело объемом 100 кубических сантиметров, погруженное в ртуть? (Дайте ответ в ньютонах.) \_\_\_\_\_
8. На рис. 7.3 поршень слева имеет площадь  $40 \text{ см}^2$ , а поршень справа —  $140 \text{ см}^2$ . Какой вес нужно поставить на левый поршень, чтобы уравновесить вес 250 кгс на правом поршне? \_\_\_\_\_

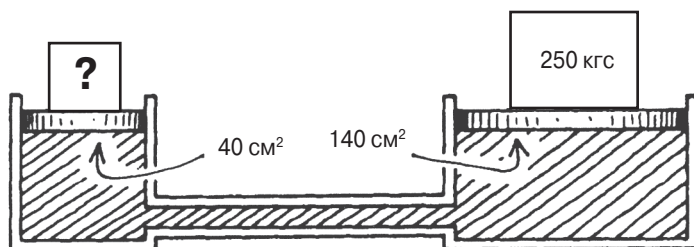


Рис. 7.3.

9. Какие отношения у молекулы газа с ее соседями (т.е. с соседними молекулами)?  
\_\_\_\_\_
10. Предположим, что два газа находятся в одинаковых контейнерах, и эти два газа содержат одинаковое количество молекул, которые движутся с одинаковой средней скоростью. Однако молекулы одного газа массивнее, чем другого. Какой газ будет оказывать большее давление на стенки контейнера? Объясните.  
\_\_\_\_\_
11. Сопоставьте единицы измерения (приведены справа) с величинами, которые выражают эти единицы. Для выражения одной величины могут использоваться несколько единиц измерения.
- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| а) Давление _____           | фунт-сила/дюйм <sup>2</sup> ; мм Нг            |
| б) Сила _____               | Н/м <sup>2</sup> ; ньютоны                     |
| в) Весовая плотность _____  | кг/м <sup>3</sup> ; фунт-сила/фут <sup>3</sup> |
| г) Массовая плотность _____ |  |
12. Когда в прогнозе погоды говорят о давлении 734 мм, то чему равно давление в Н/м<sup>2</sup>? (Весовая плотность ртути 133 000 Н/м<sup>3</sup>.) \_\_\_\_\_
13. Где строительный блок из вопроса 6 будет иметь больший кажущийся вес — в вакууме или в воздухе? \_\_\_\_\_

### Ответы

1. В твердом теле молекулы держатся на определенных местах и не могут поменяться местами с другими молекулами. В жидкости молекулы воздействуют силой друг на друга, поэтому расстояния между молекулами довольно постоянны, но молекулы могут двигаться вокруг друг друга. (Раздел 1)
2. Давление = глубина·весовая плотность. (Раздел 2)
3. 6000 кгс/м<sup>2</sup> (6 м · 1000 кгс/м<sup>3</sup>). (Раздел 2)

4. 23 520 Н/м<sup>2</sup>.

*Решение.*

Массовая плотность спирта =  $0,80 \cdot 1000 \text{ кг/м}^3 = 800 \text{ кг/м}^3$ .

Весовая плотность спирта =  $800 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ Н/кг} = 7840 \text{ Н/м}^3$ .

Давление = глубина · весовая плотность.

Давление =  $3 \text{ м} \cdot 7840 \text{ Н/м}^3 = 23\,520 \text{ Н/м}^2$ . (Раздел 4)

5. 14,7 кгс.

*Решение.* Объем вытесненной воды равен  $0,0147 \text{ м}^3$ . Вес такого количества воды равен  $0,0147 \text{ м}^3 \cdot 1000 \text{ кгс/м}^3 = 14,7 \text{ кгс}$ . (Разделы 5, 6)

6. 140 кгс.

*Решение.*

Объем блока =  $0,3 \text{ м} \cdot 0,3 \text{ м} \cdot 0,6 \text{ м} = 0,054 \text{ м}^3$ .

Вес вытесненной воды =  $1000 \text{ кгс/м}^3 \cdot 0,054 \text{ м}^3 = 54 \text{ кгс}$ .

Кажущийся вес =  $194 \text{ кгс} - 54 \text{ кгс} = 140 \text{ кгс}$ . (Раздел 5)

7. 13,3 ньютона.

*Решение.* Весовая плотность ртути в 13,6 раза больше плотности воды. Это  $13,6 \text{ гс/см}^3$ . Вес ртути, вытесненной телом объемом  $100 \text{ см}^3$ , равен  $1360 \text{ граммов}$ -сила, или  $1,36 \text{ кгс}$ . Вес тела  $1,36 \text{ кгс}$ , выраженный в ньютонах, равен  $1,36 \text{ кгс} \cdot 9,8 \text{ Н/кгс} = 13,3 \text{ Н}$ . (Раздел 8)

8. 71 кгс.

*Решение.* Давление на правом поршне равно  $(250 \text{ кгс}) / (140 \text{ см}^2) = 1,786 \text{ кгс/см}^2$ . Такое же давление приложено и к левому поршню, поэтому на этот поршень воздействует такая сила:

Сила =  $1,786 \text{ кгс/см}^2 \cdot 40 \text{ см}^2 = 71 \text{ кгс}$ . (Раздел 9)

9. Вряд ли они поддерживают добрососедские отношения. Молекулы газа воздействуют силой друг на друга только при столкновениях. (Раздел 10)
10. Газ с более крупными молекулами. Давление создается за счет столкновений со стенками контейнера. Если молекулы движутся с одинаковой скоростью, то при столкновении со стенкой с большей силой на нее будут воздействовать более массивные молекулы. (Раздел 12)
11. Давление: фунт-сила/дюйм<sup>2</sup>; Н/м<sup>2</sup>; мм Hg. (Разделы 2, 4, 16)

Сила: ньютоны. (Раздел 4)

Весовая плотность: фунт-сила/фут<sup>3</sup>. (Раздел 4)

Массовая плотность: кг/м<sup>3</sup>. (Раздел 4)



12.  $97\,622\text{ Н/м}^2$

*Решение.*

$$\begin{aligned}\text{Давление} &= \text{глубина} \cdot \text{весовая плотность} = \\ &= 0,734\text{ м} \cdot 133\,000\text{ Н/м}^3 = \\ &= 97\,622\text{ Н/м}^2. \text{ (Раздел 17)}\end{aligned}$$

13. В вакууме. (Потому что в воздухе на блок будет действовать выталкивающая сила воздуха, хотя и очень небольшая, около 66 граммов-сила.) (Разделы 18, 19)