

# Ответы к заданиям — Физика вокруг нас

Загляни сюда только после того, как сам(а) попробовал(а) решить!

Все ответы — по порядку величины: если ты получил число «в разы» близкое — это успех. В прикидочных задачах разумно отличаться в 1,5–2 раза.

## Урок 1. Оценки Ферми

- $\sim 4 \times 10^8$  секунд (порядок  $10^8$ ).** 13 лет  $\times$  365 дней  $\times$  24 ч  $\times$  3600 с = 13  $\times$   $3,15 \times 10^7 \approx 4,1 \times 10^8$  с. Полезно запомнить: в году около  **$3,15 \times 10^7$  секунд** (« $\pi \times 10^7$ » — почти точно!).
- $\sim 3 \times 10^9$  ударов (порядок  $10^9$ ).** 70 уд/мин  $\times$  60  $\times$  24  $\times$  365  $\times$  80 = 70  $\times$   $5,25 \times 10^7 \times$  80  $\approx 2,9 \times 10^9$ . Почти три миллиарда ударов за жизнь.
- $\sim 11\ 000$  литров в сутки (порядок  $10^4$ ).** 0,5 л  $\times$  15 вд/мин  $\times$  60  $\times$  24 = 0,5  $\times$  15  $\times$  1440 = **10 800 л**. Больше десяти кубометров воздуха в день! (В покое; при нагрузке в разы больше.)
- $\sim 4 \times 10^8$  песчинок (порядок  $10^8$ ).** Объём песчинки-кубика 0,3 мм:  $(3 \times 10^{-4} \text{ м})^3 = 2,7 \times 10^{-11} \text{ м}^3$ . Ведро 10 л = 0,01 м<sup>3</sup>. Число  $\approx 0,01 / 2,7 \times 10^{-11} \approx 3,7 \times 10^8$ . С учётом того, что песчинки не заполняют объём плотно (пустоты  $\sim 35\%$ ), реально  $\sim 2,4 \times 10^8$  — тот же порядок.
- $\sim 10\ 000$  тетрадей (порядок  $10^4$ ).** Дровесины 0,3 м<sup>3</sup> при плотности 1000 кг/м<sup>3</sup>  $\Rightarrow$  300 кг «бумаги». Один лист А5  $\sim 2,5$  г  $\Rightarrow$  листов  $300 / 0,0025 = 1,2 \times 10^5$ . Тетрадь 12 листов  $\Rightarrow$   **$\sim 10\ 000$  тетрадей**. (Реально меньше — не вся древесина идёт в бумагу, но порядок верен.)
- $\sim 7 \times 10^6$  человеко-лет за сутки (порядок  $10^7$ ).**  $8 \times 10^9$  человек  $\times$  8 ч сна =  $6,4 \times 10^{10}$  человеко-часов в сутки. Переводим в человеко-годы: делим на  $24 \times 365 = 8760$  ч  $\rightarrow 6,4 \times 10^{10} / 8760 \approx 7,3 \times 10^6$  **человеко-лет**. За одни сутки человечество суммарно проспало миллионы лет!
- $\sim 1,4 \times 10^6$  автомобилей (порядок  $10^6$ ).** Семей:  $13 \times 10^6 / 3 \approx 4,3 \times 10^6$ . Машина у каждой третьей  $\rightarrow 4,3 \times 10^6 / 3 \approx 1,4 \times 10^6$  **машин**. Порядок — миллионы, что

близко к реальности для Москвы.

8. **~13 000 км (порядок  $10^4$  км) — примерно треть экватора.** Длина цепочки:  $1,3 \times 10^7$  человек  $\times$  1 м =  $1,3 \times 10^7$  м =  **$1,3 \times 10^4$  км.** Экватор ~40 000 км, значит цепочка из москвичей, взявшихся за руки, обернула бы Землю по экватору примерно на треть.

## Урок 2. Размерность и единицы

- 1. Ватт, размерность  $M \cdot L^2/T^3$ .** Мощность = работа/время =  $(M \cdot L^2/T^2)/T = M \cdot L^2/T^3$ . Единица — ватт (Вт) = Дж/с = кг·м<sup>2</sup>/с<sup>3</sup>.
- 2. Совпадает, это ускорение.**  $a = v^2/r \rightarrow (L/T)^2/L = (L^2/T^2)/L = L/T^2$  — размерность ускорения. Формула центростремительного ускорения корректна.
- 3. Это импульс, а не сила.**  $m \cdot v \rightarrow M \cdot (L/T) = M \cdot L/T$  = кг·м/с. Это размерность импульса, а не силы (у силы  $M \cdot L/T^2$ ). Формула « $F = mv$ » физически неверна.
- 4.  $v \sim \sqrt{gh}$ , точно  $v = \sqrt{2gh}$ .** Ищем  $v = g^a \cdot h^b$ :  $(L/T) = (L/T^2)^a \cdot L^b$ . По T:  $-2a = -1 \rightarrow a = 1/2$ . По L:  $a+b = 1 \rightarrow b = 1/2$ . Значит  **$v \sim \sqrt{gh}$**  — структура совпадает с точной  $v = \sqrt{2gh}$ ; множитель 2 под корнем размерность не ловит.
- 5.  $T \propto r^{3/2}$  (третий закон Кеплера).** Ищем  $T = r^a \cdot M^b \cdot G^c$ , G имеет  $L^3/(M \cdot T^2)$ . Приравниваем:  $T^1 = L^a \cdot M^b \cdot (L^3 M^{-1} T^{-2})^c$ . По M:  $b - c = 0$ . По L:  $a + 3c = 0$ . По T:  $-2c = 1 \rightarrow c = -1/2$ . Тогда  $b = -1/2$ ,  $a = -3c = 3/2$ . Итог:  **$T \propto r^{3/2} \cdot (GM)^{-1/2}$** , то есть  $T^2 \propto r^3$  — знаменитый третий закон Кеплера!
- 6. Получается паскаль ( $M/(L \cdot T^2)$ ).**  $\rho gh \rightarrow (M/L^3) \cdot (L/T^2) \cdot L = M/(L \cdot T^2) = \text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2) = \text{Па}$ . Формула корректна.
- 7. В 20 раз медленнее.**  $v \propto \sqrt{h}$ , значит отношение скоростей  $\sqrt{(4000/10)} = \sqrt{400} = 20$ . Волна замедляется в 20 раз (с ~200 м/с до ~10 м/с) — поэтому у берега она «вырастает» и обрушивается.
- 8. I имеет размерность  $M \cdot L^2$  (кг·м<sup>2</sup>).**  $E = 1/2 I \omega^2 \rightarrow M \cdot L^2/T^2 = I \cdot (1/T)^2 = I \cdot T^{-2}$ . Значит  $I = M \cdot L^2/T^2 \cdot T^2 = M \cdot L^2$ . Это и есть размерность момента инерции — «масса, умноженная на квадрат расстояния».

### Урок 3. Давление и закон Архимеда

- 1. 29 400 Па без атмосферы;  $\approx$  129 400 Па с атмосферой.**  $p = \rho gh = 1000 \times 9,8 \times 3 = 29,4$  кПа. С атмосферой добавляем  $10^5$  Па  $\rightarrow$   **$\sim$ 129 кПа** ( $\approx$  1,3 атм).
- 2. На глубине  $\sim$ 10 м.** «Давление воды 2 атм» =  $2 \times 10^5$  Па. Из  $\rho gh = 2 \times 10^5 \rightarrow h = 2 \times 10^5 / (1000 \times 9,8) \approx$  **20,4 м**. Если же вопрос про полное давление 2 атм (атмосфера + вода = 2 атм, т.е. воды 1 атм), то  $h \approx$  **10,2 м**. (Оба варианта засчитываются, если указал, что считаешь.)
- 3.  $\sim$ 24% под водой.** Доля =  $\rho_{\text{пробки}} / \rho_{\text{воды}} = 240 / 1000 =$  **0,24**. Под водой лишь четверть — пробка отличный поплавок.
- 4. 500 кг/м<sup>3</sup>.** Погружено половина объёма  $\rightarrow \rho_{\text{тела}} / \rho_{\text{воды}} = 0,5 \rightarrow \rho_{\text{тела}} =$  **500 кг/м<sup>3</sup>**.
- 5.  $\sim$ 300 м полной высоты.** Над водой 30 м — это 10% высоты. Полная высота =  $30 / 0,1 =$  **300 м**. (Реальные айсберги-гиганты и правда бывают такой высоты по вертикали.)
- 6.  $\sim$ 750 Н, разнять трудно из-за перепада давления.** Снаружи давит атмосфера 1 атм, изнутри 0,5 атм. Нескомпенсированная разность 0,5 атм =  $0,5 \times 10^5$  Па. Сила =  $0,5 \times 10^5 \times 150 \times 10^{-4} =$  **750 Н** (как 75 кг), прижимающая ладони друг к другу. Это принцип «магдебургских полушарий».
- 7. Т  $\approx$  66,6 Н.** Вес шара:  $7800 \times 10^{-3} \times 9,8 = 76,44$  Н. Архимедова сила:  $1000 \times 10^{-3} \times 9,8 = 9,8$  Н. Натяжение нити =  $76,44 - 9,8 \approx$  **66,6 Н**. В воде шар «весит» меньше на вес вытесненной воды.
- 8. Всплывает, потому что падает средняя плотность.** Заполняя цистерны воздухом вместо воды, лодка сохраняет прежний объём (вытесняет столько же воды), но становится легче. Её средняя плотность падает ниже плотности воды  $\rightarrow$  архимедова сила превышает вес  $\rightarrow$  лодка всплывает. Наоборот, впуская воду, лодка тяжелеет и тонет.

### Урок 4. Поверхностное натяжение

1. **Шар меньше по площади примерно в 1,24 раза ( $S_{\text{шар}}/S_{\text{куб}} \approx 0,806$ ).** При равном объёме  $S_{\text{шар}}/S_{\text{куб}} = (36\pi)^{1/3}/6 \approx 4,836/6 \approx 0,806$ . То есть у куба площадь на ~24% больше. Шар — чемпион по минимуму поверхности, потому капли и стремятся к нему.
2.  **$\sim 4,6 \times 10^{-3}$  Н.** Периметр монеты  $d = 2$  см:  $L = \pi d = 3,14 \times 0,02 = 0,0628$  м.  $F = \sigma L = 0,073 \times 0,0628 \approx 4,6 \times 10^{-3}$  Н.
3. **Потому что так минимальна площадь поверхности и энергия.** Масло не смешивается с водой; чтобы уменьшить площадь границы масло–вода (у неё тоже есть натяжение), капля стягивается в шар. Растёкшаяся плёнка имела бы огромную площадь границы и потому невыгодна энергетически.
4. **Сила падает в ~2,9 раза; скрепка утонет.** Отношение  $0,073/0,025 \approx 2,9$ . Новая максимальная сила:  $0,025 \times 0,06 = 1,5 \times 10^{-3}$  Н. Вес скрепки (0,4 г)  $\approx 3,9 \times 10^{-3}$  Н — теперь **больше** удерживающей силы, поэтому скрепка **тонет**. Именно это и происходит, когда капнешь мыло.
5. **Есть предельный размер; крупные животные проваливаются.** Удерживающая сила  $\propto$  периметру лапок  $\propto L$ . Вес  $\propto$  объёму  $\propto L^3$ . С ростом  $L$  вес ( $\propto L^3$ ) растёт быстрее опоры ( $\propto L$ ), и при некотором размере вес превысит силу натяжения. Поэтому по воде бегают только лёгкие мелкие насекомые, а кошка или человек мгновенно проваливаются — их  $L$  слишком велик.
6.  **$\sim 2 \times 10^{-3}$  Н.** У мыльной плёнки **две** поверхности, поэтому сила на подвижную сторону  $F = \sigma \cdot L \cdot 2 = 0,025 \times 0,04 \times 2 = 0,002$  Н. Множитель 2 — ключ к задаче.
7. **Тёплая вода имеет меньшее  $\sigma$ .** С ростом температуры молекулы движутся энергичнее, притяжение в поверхностном слое ослабевает,  $\sigma$  падает (у кипятка примерно на 20% меньше, чем у холодной). Меньше  $\sigma$  — слабее плёнка — хуже держит скрепку.
8. **Перчинки поедут от края к центру и вдоль по тарелке.** Мыло у края резко снижает там  $\sigma$ ; более сильное натяжение с противоположной стороны перетягивает плёнку **прочь от места касания**, то есть от края внутрь. Перчинки устремятся от «мыльного» края к остальной поверхности.

## Урок 5. Почему небо голубое

1. **~5,9 раза.**  $(700/450)^4 = (1,556)^4 \approx 5,9$ . Синий рассеивается почти в шесть раз сильнее красного. (Если брать красный 650 нм — получится ~4,3; всё зависит от выбранных длин волн, порядок один.)
2. **Длины волн отличаются в 2 раза; сильнее рассеивается более короткая (А).** Раз  $I \propto 1/\lambda^4$  и отношение интенсивностей 16, то  $(\lambda_B/\lambda_A)^4 = 16 \rightarrow \lambda_B/\lambda_A = 16^{1/4} = 2$ . Волна А вдвое короче волны В.
3. **Один закон, два ракурса.** Синие (короткие) волны рассеиваются в разы сильнее красных. Днём мы смотрим на небо сбоку от прямого луча и видим этот рассеянный синий свет — небо голубое. На закате луч идёт сквозь толщу атмосферы по касательной, синее почти полностью выбивается рассеянием в стороны, и до нас доходит остаток — красный. То есть голубое небо и красный закат — две стороны одного рэлеевского рассеяния.
4. **Капли крупные — рассеивают все цвета одинаково.** В облаках капельки воды сравнимы с длиной волны или крупнее, для них закон Рэля не действует. Все цвета рассеиваются почти поровну, их смесь даёт белый. Поэтому облака белые, а разрежённый воздух (мелкие молекулы) даёт голубое.
5. **Примерно в 80 раз.** Путь по касательной через слой толщиной  $h \approx$  хорда =  $2\sqrt{(2Rh)} = 2\sqrt{(2 \times 6,4 \times 10^6 \times 8 \times 10^3)} = 2\sqrt{(1,024 \times 10^{11})} = 2 \times 3,2 \times 10^5 = 6,4 \times 10^5$  м = 640 км. Отношение к полуденным 8 км:  $640/8 = 80$ . (Грубая оценка «плоского слоя»; реально из-за кривизны и рефракции цифра иная, но порядок «в десятки раз» верен — оттого закат так и краснеет.)
6. **Молока нужно мало, иначе эффект пропадает.** При малой концентрации свет рассеивается редко (по одному разу) — работает чистый Рэлей, видно и голубое, и красное. Если налить много молока, свет рассеивается многократно на всех частицах, цвета перемешиваются, и жидкость становится просто мутно-белой — ни «неба», ни «заката» не разглядеть.

7. **Слабее примерно в 24 раза.**  $(1000/450)^4 = (2,22)^4 \approx 24$ . Инфракрасное почти не рассеивается дымкой, поэтому в ИК-диапазоне снимают сквозь туман и дымку — длинные волны проходят, не рассеиваясь.
8. **Красный меньше рассеивается — виден издали сквозь туман.** По закону  $1/\lambda^4$  красный свет рассеивается в дымке и тумане слабее любого другого видимого цвета, значит проходит дальше без потерь и лучше виден на расстоянии. Поэтому стоп-сигналы, маяки и запрещающие огни делают красными — их не «съедает» туман.

## Урок 6. Реактивное движение

1. **~0,11 м/с в сторону, противоположную броску.**  $m_k \cdot v_k = m_{\text{инстр}} \cdot v_{\text{инстр}}$   
 $\rightarrow 90 \cdot v = 2 \cdot 5 = 10 \rightarrow v = 0,111 \text{ м/с}$ . Космонавт медленно поплывёт назад — единственный способ «двигаться» в пустоте.
2. **1 м/с назад.**  $120 \cdot v = 40 \cdot 3 = 120 \rightarrow v = 1 \text{ м/с}$ . Лодка откатится со скоростью 1 м/с в сторону, противоположную прыжку.
3. **10 000 Н.**  $F = u \cdot (\Delta m / \Delta t) = 2000 \times 5 = 10\,000 \text{ Н}$  тяги.
4. **1,6 м/с.** Горизонтальный импульс сохраняется (у падающего груза его нет):  
 $20 \times 2 = (20 + 5) \cdot v \rightarrow v = 40 / 25 = 1,6 \text{ м/с}$ . Груз добавил массу, но не горизонтальный импульс, поэтому скорость упала.
5. **3,0 м/с.**  $m_1 v_1 = m_2 v_2 \rightarrow 50 \times 4,2 = 70 \times v \rightarrow v = 210 / 70 = 3,0 \text{ м/с}$ . Тяжёлый едет медленнее лёгкого во столько раз, во сколько тяжелее.
6. **Энергия пули в 400 раз больше.** При равных импульсах  $E = p^2 / (2m)$ , значит  $E_{\text{пули}} / E_{\text{ружья}} = m_{\text{ружья}} / m_{\text{пули}} = 4 / 0,010 = 400$ . Проверка:  $E_{\text{пули}} = \frac{1}{2} \times 0,01 \times 700^2 = 2450 \text{ Дж}$ ;  $E_{\text{ружья}} = \frac{1}{2} \times 4 \times 1,75^2 = 6,1 \text{ Дж}$ ; отношение 400. Импульсы равны, а энергия достаётся в основном лёгкому и быстрому телу — потому пуля разрушительна, а отдача терпима.
7. **Сдвинуть нельзя — суммарный импульс системы не меняется.** Вентилятор гонит воздух вперёд (в парус), получая отдачу назад; парус ловит эту струю и толкается вперёд. Внутренние силы взаимно компенсируются, суммарный

импульс системы «лодка + вентилятор + воздух» остаётся нулём. Чтобы плыть, надо выбрасывать воздух **за пределы** лодки (тогда уносимый импульс не возвращается) — например, направить вентилятор назад, минуя парус.

8. **Топливо разгоняет и ещё не сожжённое топливо — отсюда экспонента.** Выбрасывая газ, ракета толкает себя вперёд. Но пока бак полон, двигатель разгоняет и корпус, **и всё оставшееся топливо** — тяжёлый груз. Каждая новая порция скорости требует разгонять всё меньшую массу, но чтобы «долить» скорости, приходится жечь топливо, которое само весит и которое тоже надо было разгонять. Поэтому масса топлива растёт не линейно, а экспоненциально со скоростью (формула Циолковского): чтобы удвоить скорость, нужно не вдвое, а во много раз больше топлива.

## Урок 7. Тепло и остывание

1. **15 750 кДж  $\approx$  4,4 кВт·ч.**  $Q = cm\Delta T = 4200 \times 150 \times 25 = 1,575 \times 10^7$  Дж = **15 750 кДж.** В кВт·ч:  $1,575 \times 10^7 / 3,6 \times 10^6 \approx$  **4,4 кВт·ч.** Вот почему нагрев ванны заметен в счёте за электричество.
2. **Идеально  $\sim$ 229 с ( $\approx$  3,8 мин); потерялось  $\sim$ 5%.**  $Q = 4200 \times 1,5 \times 80 = 504\,000$  Дж. Идеальное время:  $504000/2200 \approx$  **229 с  $\approx$  3,8 мин.** Раз реально ушло 240 с, полезно пошло  $229/240 \approx 95\%$ , то есть потерялось  $\sim$ 5% (мощный чайник закипает быстро, потери малы). Если бы кипятили дольше или меньше воды, доля потерь выросла бы.
3. **Вода сглаживает перепады из-за большой теплоёмкости.** У воды  $c = 4200$  — огромная. Море медленно нагревается днём и медленно отдаёт тепло ночью, удерживая температуру ровной. Песок и камень в пустыне имеют вчетверо-впятеро меньшую теплоёмкость, быстро раскаляются днём и быстро остывают ночью — отсюда резкий суточный перепад.
4. **Сходится по порядку.**  $100 \text{ Вт} \times 24 \text{ ч} = 100 \times 86400 = 8,64 \times 10^6$  Дж  $\approx$  8,6 МДж в сутки отдаётся. Норма питания  $2000 \text{ ккал} = 2000 \times 4200 = 8,4 \times 10^6$  Дж  $\approx$  8,4 МДж. Практически совпадает! Почти вся съеденная энергия в итоге уходит из тела как тепло — человек и правда греет комнату, как лампочка  $\sim$ 100 Вт.

5. **Да, получаются джоули.**  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T \rightarrow [\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})] \times [\text{кг}] \times [^\circ\text{C}] = \text{Дж}$ . Килограммы и градусы сокращаются, остаётся джоуль. Размерность подтверждает формулу.
6. **~217 г пота ( $\approx 217$  мл).**  $m = 500\,000 \text{ Дж} / 2300 \text{ Дж/г} \approx 217 \text{ г}$ . Около стакана пота за час — вот сколько воды теряешь на тренировке, и именно испарение уносит тепло.
7. **Нагретая вода легче, всплывает по Архимеду — это конвекция.** При нагревании вода расширяется, её плотность падает. Более лёгкая тёплая вода выталкивается вверх архимедовой силой, а холодная (плотная) опускается вниз. Возникает круговорот — конвекция, которая прогревает всю кастрюлю снизу доверху.
8. **Термос блокирует все три канала.** (1) **Теплопроводность и конвекция** убраны вакуумным зазором между двойными стенками — в пустоте нет молекул, чтобы переносить тепло, и нет воздуха для конвекции. (2) **Излучение** отражается зеркальным (посеребрённым) покрытием стенок обратно внутрь. (3) **Испарение и конвекцию через горло** перекрывает плотная крышка-пробка. Так последовательно закрыты все пути утечки тепла, и чай остаётся горячим часами.