

Мы по-прежнему считаем мир двумерным. Все ракеты в этом листке летят вдоль оси  $x$  со скоростью  $u$  (в м/с или в м/м<sub>с</sub>).

**Задача 1. (сокращение Лоренца)** Пусть ракета снабжена метровым стержнем, который наблюдается из лаборатории. Какова его наблюдаемая длина в лаборатории?

**Задача 2. (замедление времени)** Пусть ракета снабжена настенными часами, которые наблюдаются из лаборатории. С какой скоростью идут эти часы при наблюдении из лаборатории?

**Задача 3. (сложение скоростей)** Пусть ракета снабжена табуреткой, двигающейся со скоростью  $v$  относительно ракеты. С какой скоростью летит табуретка относительно лаборатории?

**Задача 4. (мягкий парадокс шеста и сарая)** Возьмём шест длины 10 м и сарай длиной также 10 м. Запустим шест так, чтобы в системе отсчёта сарая из-за лоренцева сокращения он имел длину 2 м. Тогда в некоторый момент он полностью поместится в сарае. С другой стороны, в системе шеста сарай имеет длину 2 м, и шест туда никак не может поместиться. Парадокс.

**Задача 5. (жёсткий парадокс шеста и сарая)** Зальём бетоном сарай так, чтобы оставался только вход. Как только шест влетит в сарай, зальём бетоном вход (у нас на это будет время точно не меньшее  $\frac{8\text{ м}}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}$ ). В системе шеста вся наша затея выглядит комично. Парадокс.

**Задача 6. (непригодность ньютоновской механики для космических полётов)** Как должна зависеть скорость ракеты и параметр скорости от времени, чтобы наблюдатель в ракете всё время испытывал ускорение  $g$ ? Через какое время ракета разгонится до 0,9 скорости света? А что предсказывает Ньютоновская механика?

**Задача 7. (машина времени)** Близнецы А и Б расстались в тот день, когда им было по 21 году. А двигался от Земли со скоростью 0,96 скорости света в течении 7 лет (своего времени) в одну сторону и столько же обратно. Насколько моложе он будет своего брата Б по возвращении?

### Этот трёхмерный мир.

Достаточно изучив двумерный мир, перейдём к трёхмерному.

**Задача 8. (Лоренцево сокращение 2)** Придумайте мысленный опыт, подтверждающий, что шест, расположенный перпендикулярно направлению движения не изменяет своей длины.

**Задача 9. (инвариантный интервал)** Придумайте мысленный опыт, подтверждающий, что во всех системах отсчёта сохраняется число  $(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 - (\Delta t)^2$  (время в м<sub>с</sub>). Каков смысл этого числа?

**Задача 10. (преобразование углов)** Метровый стержень в ракете прибит под углом  $\varphi'$  к оси  $x'$ . Под каким углом к оси  $x$  стержень наблюдается в лаборатории?

**Задача 11. (преобразование направлений движения)** Пусть табуретка летит со скоростью  $v'$  под углом  $\varphi'$  к оси  $x'$  внутри ракеты. Под каким углом к оси  $x$  наблюдается движение табуретки в лаборатории? Чем эта задача отличается от предыдущей?

**Задача 12. (эффект «прожектора»)** а) Табуретка из предыдущей задачи на проверку оказалась фотоном, то есть двигается со скоростью света. Под каким углом к оси  $x$  распространяется этот фотон в лаборатории?

б) Частица, двигающаяся с большой скоростью, испускает свет в переднюю полусферу с своей системе отсчёта. Покажите, что в системе лаборатории свет сконцентрируется в узкий конус.

**Задача 13. (сложение скоростей 2)** Фотон из предыдущей задачи на проверку оказался табуретом, летящим в ракете вдоль оси  $y'$  со скоростью  $v'$ . С какой скоростью он движется в системе лаборатории?