

Мог ли реально человек физически ощутить такое незначительное приближение и сказался в основном психологический аспект?

Это **лучший вопрос** во всей дискуссии. Вы бьете прямо в суть: может ли человеческое ухо физически засечь изменение расстояния на **50 метров** (с 2300 до 2250 м) на фоне общего гула, да еще и с задержкой?

Короткий ответ: **Нет, физически он этого изменения расстояния не ощутил.**

Но парадокс в том, что **его мозг абсолютно честно сгенерировал ощущение «приближения»**. Давайте разберем, почему так происходит, разделив физику уха и психоакустику мозга.

1. Физика уха: почему 50 метров на 2,3 км — это НИЧТО

Для человеческого уха изменение громкости при изменении расстояния подчиняется закону обратных квадратов (в открытом пространстве).

- На расстоянии 2300 м звук ослаблен на $20 * \log(2300) \approx 67$ дБ относительно источника.
- На расстоянии 2250 м ослабление составляет $20 * \log(2250) \approx 67,04$ дБ.

Разница в громкости между 2300 м и 2250 м = 0,04 дБ.

Это **в 10 раз меньше**, чем минимальная разница в громкости, которую способно различить человеческое ухо (порог $\sim 0,5$ дБ). Физически барабанная перепонка не может уловить это изменение.

Вывод: Он не слышал «приближение» как изменение громкости.

2. Физика Доплера: почему 50 метров — это НИЧТО

Чтобы мозг воспринял изменение тона как «приближение», нужно, чтобы радиальная скорость была ощутимой.

В вашей геометрии ракета сначала летит почти вертикально вверх, а наблюдатель сбоку. Ее радиальная скорость (проекция на линию «наблюдатель-ракета») в первые 2,5

секунды составляет всего ~20–30 м/с (потому что она летит почти перпендикулярно лучу зрения).

Доплеровский сдвиг при 30 м/с:

$$\Delta f = f \cdot \frac{V_r}{V_{зв}} \approx f \cdot \frac{30}{349} \approx 0,086 f$$

То есть частота вырастает всего на 8,6%.

Для чистого тона это заметно, но для **гула реактивного двигателя** (широкий спектр шума) изменение частоты на 8–10% — это едва уловимый эффект, который мозг может списать на изменение тембра, а не на движение.

3. Где собака зарыта? (Психоакустика)

Если физические изменения (громкость и частота) почти незаметны, **почему он так уверенно сказал «падает»?**

Ответ кроется в **эффекте приоритета первых миллисекунд (эффект Франсена)** и в **бинауральном слухе** (работа двух ушей).

Когда очевидец **стоит спиной**, его уши расположены несимметрично относительно старта. В первые 2,5 секунды после прихода хлопка (когда он начинает поворачивать голову):

1. **Межушная разница во времени (ITD):** Звук от старта приходит в оба уха почти одновременно (разница ~0,3 мс). Но когда он начинает поворачивать голову, одно ухо становится ближе к источнику, чем другое. Мозг считывает эту разницу в 0,1–0,2 мс и интерпретирует ее как **«источник звука смещается»**.
2. **Изменение спектра из-за поворота головы:** Когда человек поворачивает голову, его ушная раковина (пина) фильтрует звук по-разному в зависимости от угла. Даже если расстояние не изменилось, мозг получает сигнал: «звук пришел с другого направления, и он стал чуть ярче/громче в высоких частотах» — это классический признак движения источника **в сторону наблюдателя**.

4. Самый мощный фактор — ОЖИДАНИЕ (когнитивный искажение)

В момент, когда он услышал гул, он **не знал**, что это ракета. Он стоял спиной. Его мозг начал искать шаблон:

- Звук идет сверху (ракета уже на 300–500 м высоты в момент излучения).
- Звук нарастает по громкости (из-за того, что он поворачивает голову ухом к источнику, а не из-за изменения расстояния).
- Звук меняет тембр (из-за вращения головы).

Мозг говорит: *«Единственный объект в моей памяти, который издает нарастающий сверху гул при повороте головы, — это падающий самолет/вертолет».*

Он физически ощутил не приближение на 50 метров, а нарастание громкости из-за поворота уха и изменение направления звука. Мозг автоматически перевел это в нарратив «приближается».

5. Что сказал бы детектор лжи?

Если бы вы спросили его: «Ты реально слышал, что ракета стала ближе на 50 метров?», он ответил бы: «Нет, я просто услышал, что звук стал ближе».

И он был бы **абсолютно прав** в своей субъективной реальности, потому что для мозга **увеличение громкости при повороте головы и приближение источника** — это один и тот же нейронный паттерн. Мозг не различает их до тех пор, пока не включится зрение.

Итоговый ответ на ваш вопрос

Реально физически ощутить изменение расстояния на 50 м из 2300 м — НЕЛЬЗЯ. Это за пределами разрешающей способности уха по громкости и частоте.

Психологический аспект — ОСНОВНОЙ. Ощущение «приближения» возникло из-за:

- Поворота головы (изменение угла и громкости для каждого уха),
- Ожидания мозга (гул сверху = падение),
- Отсутствия визуальной привязки.

Сверхзвук здесь ни при чем. Он лишь добавил характерный хлопок, который заставил его резко повернуться. А дальше мозг дорисовал картину на основе скудных акустических данных, и эта картина оказалась «падающим самолетом», а не «взлетающей ракетой».