



Самолёт отталкивается от воздуха

*Крыло не «всасывается» вверх — оно швыряет воздух вниз,
и воздух отвечает*



Физика · 8–12 лет · 10 минут

Про крыло самолёта часто рассказывают красивую историю, которая оказалась неправдой. Настоящее объяснение проще и честнее: крыло отклоняет поток воздуха вниз, а воздух с той же силой толкает крыло вверх. При чём тут угол атаки и почему пилотажные самолёты летают вверх ногами.

Двести тонн, которые не падают

Ты стоишь у окна аэропорта. По полосе разгоняется самолёт: длиной с девятиэтажный дом, весом в двести с лишним тонн — это как сорок слонов. Он поднимает нос и уходит вверх.

Под ним нет ничего, кроме воздуха. Воздух ты не видишь и почти не чувствуешь. Как на нём может держаться такая махина?

Сейчас будет честный ответ. Но сначала придётся разобрать одно очень популярное объяснение, которое до сих пор печатают в учебниках и рассказывают в мультиках. Оно, к сожалению, неверное.

История, которая не работает

Звучит она так. Крыло сверху выпуклое, а снизу плоское. Поток воздуха у передней кромки разделяется надвое, и обе половинки «должны встретиться» у задней кромки одновременно. Но сверху путь длиннее, значит, верхняя половинка вынуждена лететь быстрее. А быстрый поток давит слабее — вот крыло и подсасывает вверх.

Красиво. И неправда.

Проблема в самой середине рассуждения: **никто и ничто не заставляет две струйки воздуха встретиться одновременно**. Это просто выдумка, у неё нет никакой причины. Когда физики измерили, что происходит на самом деле, оказалось, что верхняя струйка добирается до задней кромки **намного раньше** нижней и вовсе её не ждёт.

Есть и другие нестыковки, которые легко заметить самому:

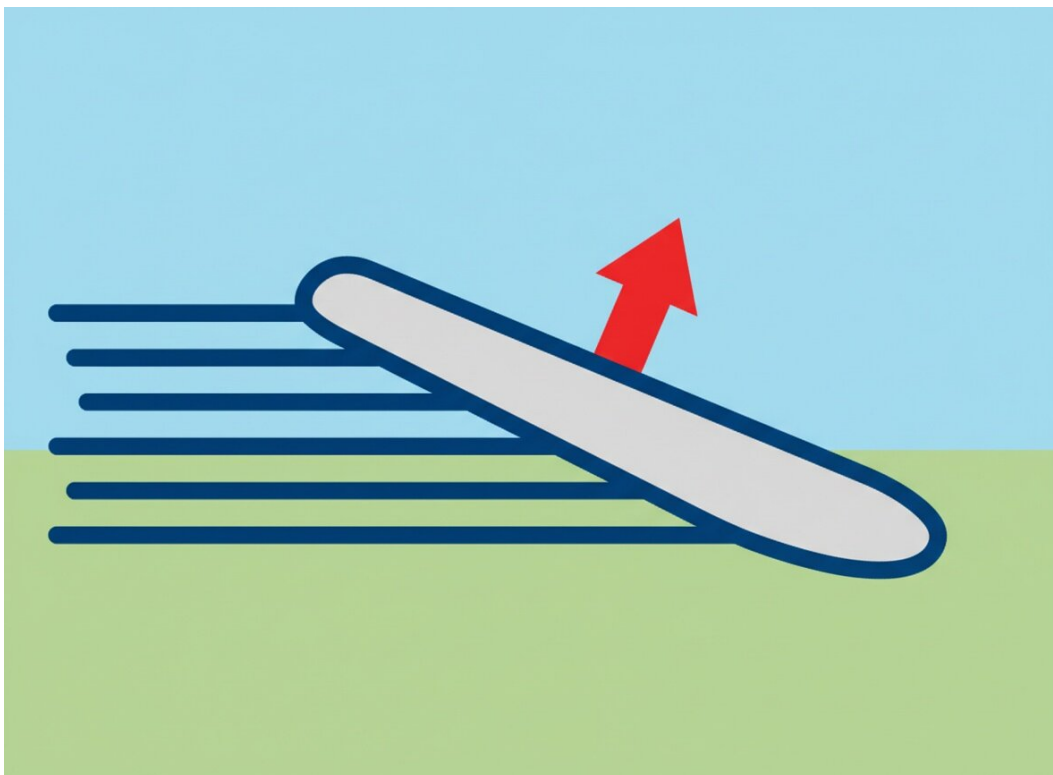
- Пилотажные самолёты прекрасно летят **вверх ногами**. Выпуклая сторона крыла оказывается снизу — по той истории они должны камнем падать вниз.
- У бумажного самолётика и у крыла воздушного змея крыло **плоское**, никакой выпуклости нет. Они летают.
- Лист фанеры, наклонённый к ветру, тоже даёт подъёмную силу.

Значит, дело не в выпуклости. Тогда в чём?

Настоящий ответ: отшвырнуть воздух вниз

Возьми шланг с водой и подставь под струю ладонь под небольшим наклоном. Струя после ладони уйдёт вбок — а ладонь ощутимо дёрнет в противоположную сторону.

Крыло делает ровно то же самое с воздухом.



Поток воздуха приходит к крылу ровно, а уходит вниз — вот и вся подъёмная сила

Посмотри на картинку внимательно. Слева воздух подходит к крылу ровным горизонтальным потоком. Справа, позади крыла, он уходит **вниз**. Крыло взяло огромную массу воздуха и отбросило её вниз.

Дальше работает закон, который открыл Ньютон и который ты чувствуешь каждый день: **если ты толкаешь что-то в одну сторону, оно толкает тебя в другую с точно такой же силой**. Это третий закон Ньютона.

Оттолкнись от бортика в бассейне — бортик оттолкнёт тебя. Прыгни с лодки на берег — лодка уедет назад. Крыло толкает воздух вниз — воздух толкает крыло вверх. Эта сила и называется подъёмной.

Подъёмная сила

Сила, с которой воздух толкает крыло вверх. Она возникает потому, что крыло разворачивает набегающий поток вниз. Чем больше воздуха в секунду крыло успевает отклонить и чем сильнее оно его отклоняет, тем больше подъёмная сила. Поэтому у тяжёлых самолётов крылья большие, а взлетать им приходится на большой скорости.

Считать можно и в другую сторону: над крылом давление и правда падает, а под ним растёт, и если сложить всё давление по поверхности крыла, получится та же самая подъёмная сила. Это не другое объяснение, а тот же процесс с другой стороны: поток поворачивает вниз именно потому, что давление распределилось неравномерно. Неверна была только выдумка про «одинаковое время» — а не сама идея, что скорость и давление связаны.

Угол атаки — главная ручка управления

Насколько сильно крыло отклоняет поток, зависит в первую очередь от того, под каким углом оно этот поток встречает. Этот угол так и называется — **угол атаки**.

Ты наверняка уже ставил такой опыт, сам того не зная: высовывал ладонь из окна едущей машины. Держишь ладонь плашмя — ничего не происходит. Чуть поворачиваешь передний край вверх — ладонь резко рвётся вверх. Поворачиваешь вниз — её вдавливают вниз.

Ладонь совершенно плоская. Никакой выпуклой верхней поверхности. Работает только угол.

Именно поэтому самолёт при взлёте задирает нос, а посадка выглядит так, будто он садится «на хвост»: на маленькой скорости нужен большой угол атаки, иначе воздуха отклонится слишком мало.



Ладонь за окном машины – то же крыло: наклони её, и она пойдёт вверх

Крыло из ладони и из бумаги

1. В машине (только со взрослым и на небольшой скорости!) выстави ладонь в окно, держа её строго ровно. Почувствуй: поток просто обтекает.
2. Медленно поворачивай ладонь передним краем вверх на несколько градусов. Ладонь потянет вверх, и чем больше угол — тем сильнее.
3. Продолжай поворачивать. В какой-то момент подъём пропадёт и останется только сильное сопротивление, отжимающее руку назад. Это тот самый срыв потока, про который дальше.
4. Дома возьми лист плотной бумаги и подуй на его наклонный край или помашим им — сработает так же. Крылу не нужна выпуклость, чтобы поднимать.

Тогда зачем крылу выпуклая верхняя поверхность? Затем, что такая форма позволяет потоку поворачивать плавно, без завихрений, и да-

ёт больше подъёмной силы на меньшем угле атаки. Выпуклость — не причина полёта, а **улучшение**. Как протектор на шине: колесо катится и без него, но с ним лучше.

Срыв потока

У угла атаки есть предел. Примерно до 15 градусов (у разных крыльев по-разному) поток послушно огибает крыло сверху и уходит вниз. Если наклонить круче, воздух перестаёт успевать поворачивать и отрывается от верхней поверхности, превращаясь в беспорядочные вихри.



Наклонишь крыло слишком сильно — поток срывается, и подъёмная сила исчезает

Подъёмная сила при этом резко падает, а сопротивление подскакивает. Лётчики называют это **срывом потока**, а такой режим полёта — сваливанием. Это опасная ситуация, и пилотов специально учат из неё выходить: нужно опустить нос, уменьшить угол атаки и дать потоку снова прилипнуть к крылу.

Самолёт летит быстрее, чем кажется

Пассажирский лайнер на высоте десять километров идёт со скоростью около 900 километров в час — это примерно 250 метров в секунду. За то время, пока ты произносишь слово «самолёт», он пролетает больше полукилометра. Но в разреженном воздухе на такой высоте воздуха мало, и чтобы отбросить вниз нужную массу, приходится лететь быстро. У земли тому же самолёту хватает 250–300 километров в час.

Что ещё держит машину в воздухе

Подъёмная сила — не единственная сила в полёте. Всего их четыре, и они тянут в разные стороны:

- **вес** тянет вниз;
- **подъёмная сила** толкает вверх;
- **тяга** двигателей тянет вперёд;
- **сопротивление** воздуха тормозит.

В ровном горизонтальном полёте они попарно уравновешены. Двигатели, что важно понять, не поднимают самолёт вверх — они тащат его вперёд. Поднимает крыло, но только пока есть скорость. Без скорости нет и потока, который можно отклонить.

Поэтому самолёт с выключенными двигателями не падает камнем: он превращается в планер и может пролететь ещё десятки километров, медленно снижаясь. Планеры и вовсе обходятся без мотора, набирая высоту в восходящих потоках воздуха, как это делают орлы.

Главное в трёх строчках

- Крыло летит потому, что отклоняет набегающий поток воздуха вниз, а воздух по третьему закону Ньютона толкает крыло вверх.
- Главное — угол атаки, а не выпуклая форма: плоская ладонь за окном машины тоже поднимается, и самолёты умеют летать вверх ногами.

- Объяснение «струи должны встретиться за крылом одновременно» — неправда: верхняя приходит раньше и никого не ждёт.

Вопросы для размышления

- Почему самолёту для взлёта нужна длинная разбежка, а вертолёту — нет?
- Если крыло толкает воздух вниз, то куда девается этот воздух и что почувствовал бы человек, стоящий прямо под низко летящим самолётом?
- На большой высоте воздух разреженный. Почему самолёты всё равно предпочитают летать там, а не у самой земли?