

ИСТОРИЯ О ПОДЪЁМНОЙ СИЛЕ КРЫЛА, или КАК ПОЛЬЗОВАТЕЛИ ИНТЕРНЕТА СПОРИЛИ ДРУГ С ДРУГОМ

Начнём с притчи, которую семь с половиной веков назад написал великий персидский поэт Джалаледдин Руми; стихи даны в переводе Наума Гребнева:

*Был приведён для обозренья слон
И в некое строенье помещён.
Чтоб подивиться на такое чудо,
Немало праздного собралось люда.
Но в помещенье тьма была черна,
И люди только трогали слона,
И сразу же друг другу в возбужденье
Высказывали разные сужденья.
Погладил кто-то хобот и изрёк:
«На жёлоб слон похож, на водосток».
Потрогав ухо, женщина сказала:
«Не отличить слона от опахала!»
И кто-то, тронув ногу, восхищённо
Сказал, что слон как некая колонна.
Другой оцупал бок и молвил: «Слон
Скорей всего похож на шахский трон!»
Бывает так повсюду: мрак и тьма
Людей лишают званья и ума.
Меж тем их разномыслие, пожалуй,
Исчезло б от свеченья свечки малой.*

Вы спросите, при чём здесь журнал «Квантик» и точные науки? Дело в том, что эту притчу я вспомнил, задумавшись над одним спором, который постоянно ведётся в интернете: как возникает подъёмная сила крыла, поддерживающая самолёт в воздухе?

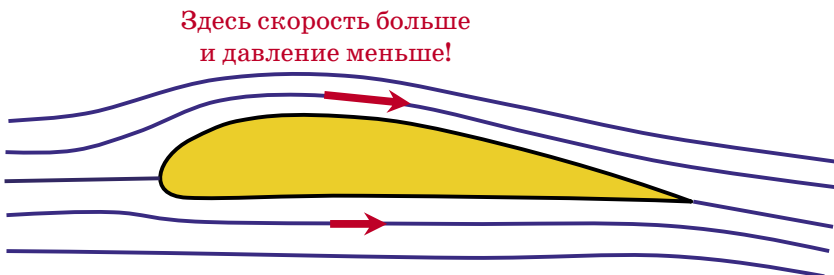
Первое объяснение подъёмной силы основано на принципе Бернулли. Чтобы понять сам этот закон, рассмотрим жидкость, текущую по трубе, в которую встроено отверстие уменьшенного диаметра. Ясно, что на этом участке скорость жидкости увеличится, после выхода из него вернётся к первоначальному значению: ведь и через широкую, и через узкую трубу за одно и то же время должно протекать одно и то же количество жидкости, а значит, сужение трубы должно компенсироваться увеличением скорости: это так называемый *принцип непрерывности*.





А теперь спросим себя, где давление жидкости больше: в широких участках трубы или в узком? *Принцип Бернулли* утверждает, что давление в узком участке трубы, как это ни удивительно, *меньше*, чем на широких участках! Чтобы обосновать это утверждение, спросим себя: за счёт чего вода набирает скорость во входном переходнике? Чтобы вода разогналась, давление на широком входе в конус должно быть больше, чем на узком выходе из него, иначе никакого разгона не произойдёт. Такое же рассуждение справедливо для выходного переходника: чтобы вода замедлялась, давление на широком выходе из конуса должно быть больше, чем на узком входе в него.

Как с помощью принципа Бернулли можно объяснить возникновение подъёмной силы крыла? Рассмотрим обтекание крыла с точки зрения человека в самолёте: для него самолёт неподвижен, а воздух налетает на самолёт спереди и обтекает фюзеляж и крылья. Пусть крыло самолёта «классическое» и имеет несимметричный профиль, сверху более выпуклый, чем снизу. Спереди профиль «тупой», а его задняя кромка – острая, чтобы за ней не возникало нежелательных вихрей. При обтекании такого крыла воздухом, «трубки тока» над крылом как бы поджимаются выпуклым препятствием и оказываются более узкими, чем под крылом. А тогда и скорость воздуха в них возрастает; правда, время, за которое воздух огибает крыло с разных сторон, может различаться. Но по принципу Бернулли при возрастании скорости давление в «трубке тока» уменьшается. И тем самым давление над



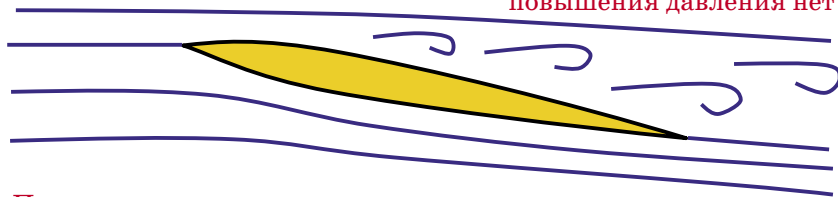
крылом меньше, чем давление под крылом. Эта разность давлений и создаёт подъёмную силу, за счёт которой летящий самолёт держится в воздухе.

Но в этом месте, как водится, появляется критик: «Вы знаете, что самолёты могут летать вверх ногами? Но когда самолёт летит вверх ногами, у него и крыло перевернуто! И его подъёмная сила направлена не вверх, а вниз – туда же, куда направлена сила тяжести! Но тогда самолёт под совокупным действием этих сил должен рухнуть вниз, а он всё таки летит!»

Человек, знакомый только с таким объяснением, остаётся обескураженным. А критик добавляет: «И вообще, у современных сверхзвуковых самолётов профиль крыла вовсе не такой, как вы тут нарисовали! Он тонкий и симметричный. Как же такое крыло создаёт подъёмную силу?»

Возражение резонное, и мы просим критика дать своё объяснение. И он нам отвечает, что когда самолёт летит, его крыло обтекается воздухом под некоторым углом атаки (примерно так, как воздушный змей, только с большей скоростью). И обтекание крыла оказывается несимметричным: под крылом воздух течёт плавно и нажимает на него, повышая давление снизу, а вот над крылом происходит срыв потока, потому что крыло как бы заслоняет для воздуха ту область, которая за ним, и здесь возникает зона завихрений, в которой давление не повышается, а остаётся близким к атмосферному. И именно эта разность давлений создаёт подъёмную силу, а вовсе не ваш сомнительный закон Бернулли, – добавляет критик в конце своей речи.

А в области завихрений за крылом
повышения давления нет



Под крылом давление повышается из-за напора воздуха

Как самолёты летают вверх ногами, критик тоже может объяснить: дело в том, что они всегда разворачиваются так, чтобы крыло имело правильный угол атаки по отношению к потоку и чтобы подъёмная сила тем самым всегда была направлена вверх.



Критик отходит в сторону, а мы задумываемся. Всё-таки на дозвуковых самолётах крыло делали выпуклым сверху, и наверное, это имело какой-то смысл? И неужели подъёмная сила, создаваемая таким крылом при нулевом угле атаки, столь ничтожна, что ею можно пренебречь? Когда мы об этом думаем, на сцену выходит второй критик. «Я слышал всё, что вы здесь говорили, – сообщает он, – и заявляю, что рассуждать надо совсем иначе. Дело в том, что крыло, будь его профиль несимметричным или симметричным с ненулевым углом атаки, отбрасывает воздух вниз, это и на ваших рисунках видно. А раз воздух отбрасывается вниз, то на него со стороны крыла действует сила, направленная вниз. Но тогда, по *третьему закону Ньютона* – «действие равно противодействию», слышали о таком? – на крыло со стороны воздуха действует сила, направленная вверх, и это и есть подъёмная сила крыла. А все ваши разговоры про закон Бернулли совершенно несостоятельны; и кстати, несимметричный профиль будет отбрасывать воздух вниз и при отсутствии срыва, создавая подъёмную силу, так что первый критик тоже был если и прав, то не совсем».

Скорость воздуха до встречи с крылом

Скорость воздуха после встречи с крылом

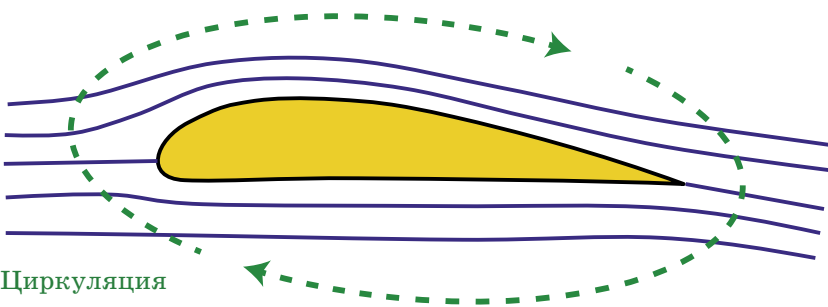


И вот такой у автора первого объяснения и двух его критиков получается разговор. Они спорят друг с другом до изнеможения, не понимая, что их объяснения являются не *альтернативными*, отрицающими друг друга, но *дополнительными*, помогающими лучше понять суть работы крыла в разных режимах. Особенно скажем про второго критика: он думает, что его объяснение, основанное на разности скоростей, отвергает всё сказанное прежде, а ведь оно, если можно так выразиться, просто заходит с другой стороны, потому что если какие силы и действуют непосредственно на поверхность крыла со стороны воздуха, то это



силы воздушного давления, других у нас нет. А разговор об отбрасывании воздуха вниз позволяет объяснить возникновение подъёмной силы другим путём, без разговоров о давлении. Но сама разность давлений сверху и снизу этим объяснением не уничтожается.

На этом месте можно было бы и завершить разговор, но мне хочется выпустить на сцену ещё одного критика с такой речью: «Все вы неправы, потому что на самом деле есть такая *теорема Жуковского*, которая объясняет возникновение подъёмной силы наличием циркуляции потока вокруг крыла. Когда самолёт летит, воздух вокруг крыла закручивается, и именно это закручивание поддерживает самолёт в полёте. Так что вот оно, правильное объяснение, а не всё, что вы тут до сих пор говорили!»



Циркуляция воздуха показана стрелками

И тут надо сказать, что если человек разбирается в аэродинамике, то он понимает, что теорема Жуковского – это ещё один способ описывать то же самое явление возникновения подъёмной силы, и это описание основано на очень своеобразной математической модели, использующей комплексные числа и прочие математические красоты – хотя такая вещь, как циркуляция потока, действительно существует и отнюдь не является математической абстракцией.

Мы же ещё раз повторим свой вывод: разные описания «слона», о котором говорил великий Руми, – это зачастую всего лишь именно разные описания одной реальности, и для лучшего понимания этой реальности надо не отбрасывать все прочие описания ради какого-то одного, но понять, как эти разные языки согласуются друг с другом.

Ну и кстати, найдите ещё одну притчу Руми о том, как из-за винограда перессорились четыре человека, и прочитайте её тоже, она того стоит.