


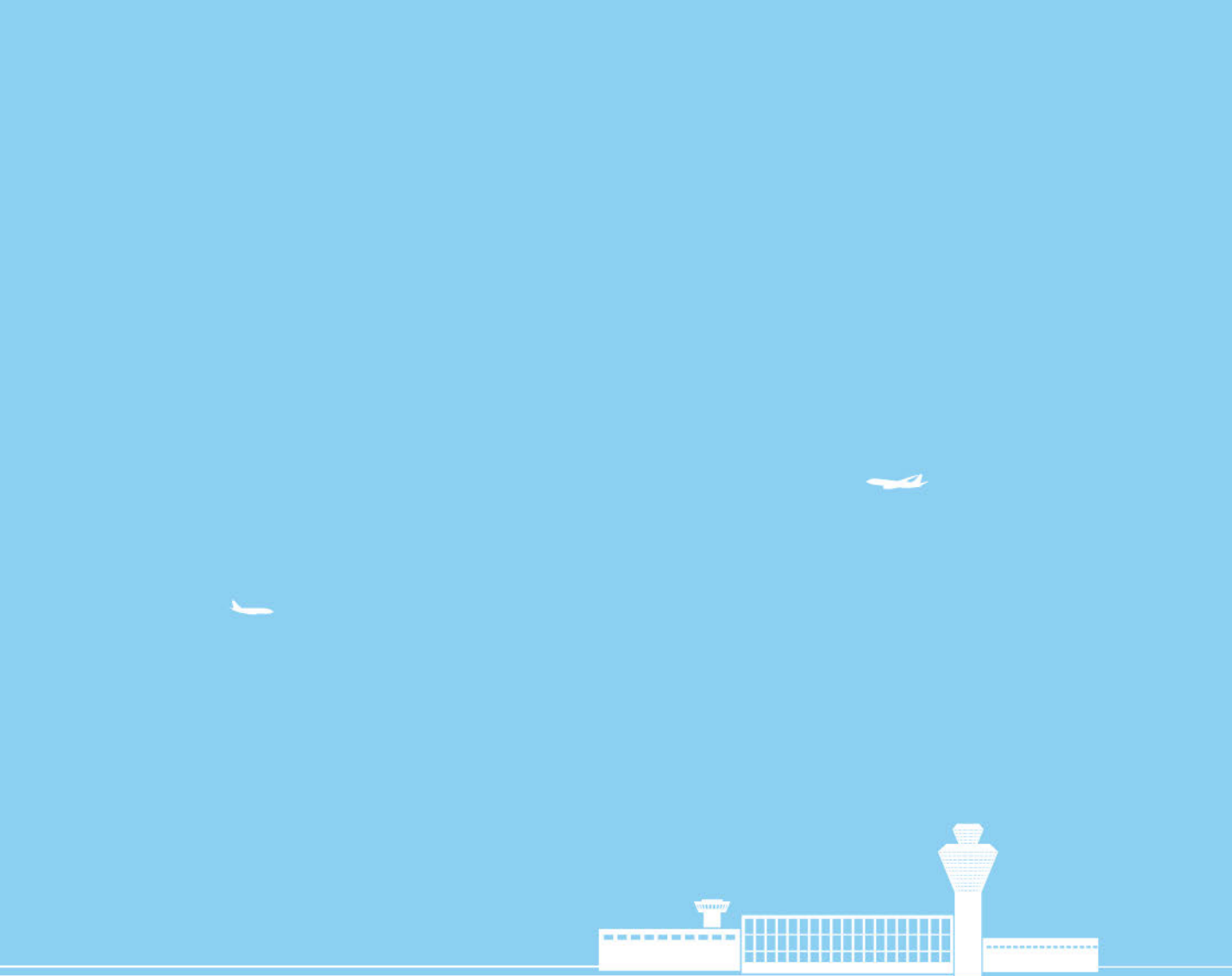
| | |
|------------|--|
| 8 | ВСТУПЛЕНИЕ |
| 10 | БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОЛЕТА |
| 70 | ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ РУЛЕВЫЕ ПОВЕРХНОСТИ |
| 100 | УСТОЙЧИВОСТЬ |
| 132 | СОПРОТИВЛЕНИЕ |
| 156 | ПОГОНЯ ЗА СКОРОСТЬЮ ЗВУКА |

- 
- 180** СВЕРХЗВУКОВОЙ ПОЛЕТ
- 208** НЕСТАНДАРТНЫЕ ТИПЫ
РУЛЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
- 230** ВИНТОКРЫЛЫЕ МАШИНЫ
- 252** БИБЛИОГРАФИЯ
- 253** ФОТОМАТЕРИАЛЫ



ВСТУПЛЕНИЕ

Современная авиация — это многомиллиардная индустрия, которой управляют гигантские корпорации, правительства и оборонные подрядчики. Самолеты достигли всех частей земного шара, поднялись до границ атмосферы, перелетели через полюса, океаны и пустыни. Тысячи из них находятся в воздухе в тот самый момент, когда вы читаете эти строки. Каждую секунду приземляются или взлетают три самолета. Тем не менее, несмотря на распространенность самолетов и их принадлежность к прагматичному миру международного бизнеса, авиация по-прежнему дарит нам ощущение волшебства.




Легко понять, что чувствовали люди, впервые увидевшие самолет на заре XX века, когда авиация только начинала развиваться. Каким потрясением было для них это зрелище! Настоящий прорыв для человечества — всего несколько лет назад летать как птица казалось невозможным, и вот хрупкие аппараты первых авиаторов сделали эту мечту реальностью. Мысль о том, что человек способен взлететь в небо с механическими крыльями и управлять полетом, была невероятной. Наверное, мы до сих пор сохра-

нили чувство нереальности в отношении самолетов; может быть, именно отсюда и происходит ощущение волшебства. Здравый смысл говорит нам, что 200 тонн металла должны рухнуть на землю со страшным грохотом, и все же реактивные пассажирские самолеты ежедневно совершают длительные полеты над облаками. Как они там держатся? Как они туда попадают? И как они благополучно возвращаются на землю, чтобы повторить полет снова и снова? Эта книга раскроет некоторые из секретов магии полета.

БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОЛЕТА



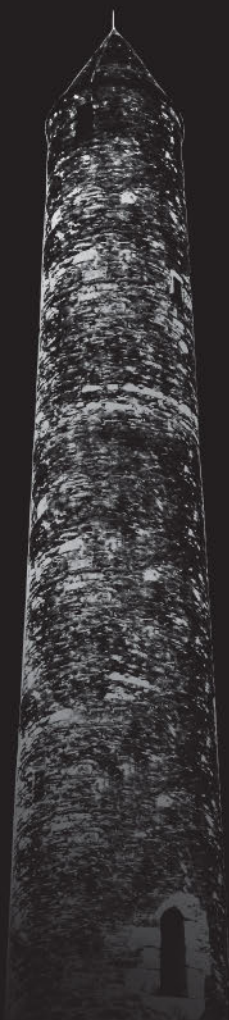


Пионеры авиации раздвинули границы человеческих возможностей. Эти мечтатели постоянно рисковали собой, испытывая новые самолеты. С каждой попыткой они все лучше понимали механику полета, но рисковали получить травмы или разбиться насмерть. Если бы не эти отважные новаторы, небеса остались бы непокоренными.

Чтобы понять, чего достигло человечество до изобретения самолета, начнем с изучения первых планеров. Опыт и знания, полученные первопроходцами летного дела, легли в основу привычной нам конструкции самолета, как только появились подходящие двигатели.

В этом разделе вы познакомитесь с теорией полета, основанной на исследованиях, проведенных физиками еще в XVIII веке, и узнаете, как крылья создают подъемную силу. Именно благодаря пониманию этих принципов и умению применять их на практике первые летчики научились покорять небо. Постепенно на смену первым неуклюжим конструкциям пришел более привычный нашему глазу дизайн. Эти самолеты были оснащены базовыми органами управления, которые оставались практически неизменными на протяжении всего следующего столетия и до настоящего времени.

Люди с крыльями



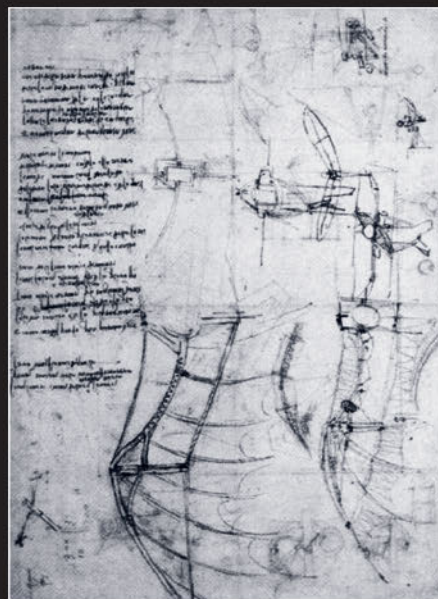
Человечество грезило полетами задолго до того, как первый самолет поднялся в небо. Но никто не мечтал о небе столь страстно, как безрассудные храбрецы, которые осмеливались летать без самолета, с помощью самодельных крыльев. К сожалению, смелость редко возносила их в небеса и куда чаще разбивала о землю. Хотя большинство из них не внесли никакого вклада в теорию авиации, они заслуживают восхищения.

Одно из самых ранних упоминаний о попытках человека летать — это история английского монаха, известного под именем Эйлмер Малмсберийский. Для своего времени он был очень эрудирован, изучал астрологию и математику. Однако, несмотря на свою образованность, в самом начале 2-го тысячелетия нашей эры он подумал, что было бы неплохо спрыгнуть с башни аббатства, привязав к рукам обтянутые тканью самодельные крылья. Высота ее составляла, судя по записям, около 45 м (здание не сохранилось), а место, где монах упал на землю, ломая ноги, было удалено от старта примерно на 200 м. Можно сказать, что в тот день Эйлмер добился определенного успеха... Хотя это явно не относится к приземлению, поскольку он вскоре умер от полученных травм.

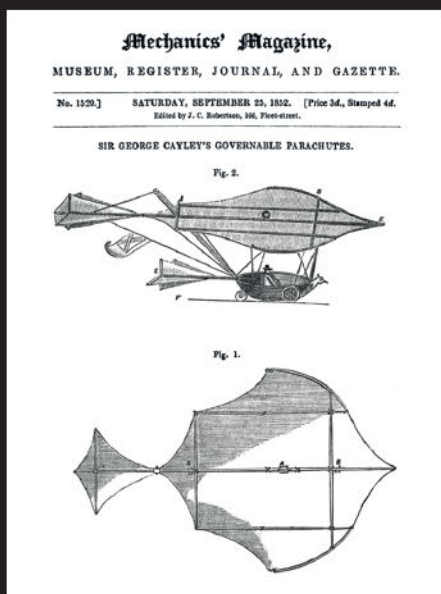
Исмаил ибн Хаммад аль-Джаухари тоже стал жертвой полета. Он был родом из современного Казахстана и, будучи составителем словарей, также слыл человеком образованным. Письменные источники указывают, что Исмаил бросил вызов гравитации через несколько лет после смерти Эйлмера. В тот роковой день в начале нового тысячелетия он поднялся на крышу мечети в Нишапуре и бросился с высоты после вдохновляющей речи перед толпой, которая собралась, чтобы наблюдать за диковинным событием. К сожалению, деревянные крылья не сработали должным образом и Исмаил разбился насмерть.

История знает множество таких мечтателей. От легендарных королей до художников, аристократов и священнослужителей — одержимость полетом заразительна для всех классов и сословий. На протяжении веков и по всему миру стремление некоторых людей к полету оказывалось настолько сильнее инстинкта выживания, что собственная жизнь казалась им достойной платой за возможность совершить сверхчеловеческий подвиг и вознестись в небеса.

С годами некоторые мыслители стали подходить к вопросу полета более научно. К XV веку эрудит Леонардо да Винчи, изучив поведение птиц в полете, придумал необычные конструкции, призванные оторвать человека от земли. Хотя его проекты невозможно реализовать, по крайней мере эти машины выглядят практичнее, чем попытки положиться на привязанные к рукам крылья и силу духа. Однако, несмотря на идеи великого Леонардо, «летуны» продолжали прыгать с башен и кости продолжали ломаться. Первые реальные успехи появились только в конце XVIII столетия, когда за дело взялся британский инженер Джордж Кейли.



Наброски летающей машины да Винчи



Планер Джорджа Кейли

Джордж Кейли с детства вдохновлялся примером братьев Монгольфье и посвятил изучению принципов полета всю свою жизнь. Он начал формулировать идеи подъемной силы и выдвигать теории полета еще в школе. По ее окончании Кейли продолжал проектировать, создавать и испытывать самодельные воздушные змеи и планеры и к 1810 году опубликовал работу «О воздушной навигации». Среди его многочисленных достижений — открытие того, как кривизна аэродинамического профиля увеличивает подъемную силу крыла, и создание первого планера, способного успешно удержать человека в воздухе. Кейли был не из тех, кто безрассудно испытывает свою судьбу, поэтому избежал трагической участи предшественников, чего, к сожалению, нельзя сказать о следующем, и последнем, герое этой главы.



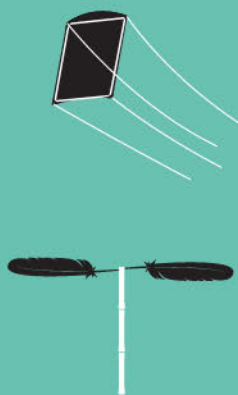
Отто Лилиенталь 1895

Отто Лилиенталь, вошедший в историю как «летающий человек», родился в Германии в 1848 году в семье из среднего класса. Всю свою жизнь он посвятил полетам. Еще в детстве Отто и его брат делали друг для друга наручные крылья; но существенного прогресса по сравнению с Кейли он добился только в последнем десятилетии XIX века. Первые опыты Лилиенталья по управляемому планированию начались в 1891 году. Дальность полета редко превышала 25 м, и только через пару лет он смог преодолеть 250 м. С начала 1890-х годов Лилиенталь совершил более 2000 пилотируемых полетов, в общей сложности набрав скудные по современным меркам пять летных часов. Это относительно короткое время полета фактически сделало его одним из самых опытных летчиков того времени. И все же в один роковой день 1896 года он потерял контроль над своим планером. Его машина рухнула вниз с высоты около 15 м, сломав пилоту позвоночник. Через полтора дня Лилиенталь скончался от полученных травм, сказав своему брату, что «тут не обойтись без жертв».

ПЕРВЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

IV ВЕК ДО Н.Э. БАМБУКОВАЯ ВЕРТУШКА

Самые первые бамбуковые вертушки были придуманы в Китае и состояли из двух перьев на конце палки. Игрушка поднималась в воздух, когда стебель бамбука быстро закручивали между ладонями.



VI ВЕК Н.Э.

БОЛЬШОЙ ВОЗДУШНЫЙ ЗМЕЙ

Большие воздушные змеи использовались для развлечения, разведки и даже для казни людей. Как и другие летающие устройства в этом списке, они придуманы в Китае.



1852 ДИРИЖАБЛЬ

Первый управляемый аэростат, дирижабль, был изобретен во Франции. Оболочку воздушного шара заполняли водородом, а пропеллеры приводились в движение небольшим паровым двигателем.



ВОЗДУШНЫЙ ЗМЕЙ V ВЕК ДО Н.Э.

Воздушные змеи были изобретены в Азии и традиционно изготавливались из шелка и бамбука. На протяжении веков их использовали для передачи сигналов, проверки ветра и измерения расстояний.

НЕБЕСНЫЙ ФОНАРИК III ВЕК ДО Н.Э.

Китайцы первыми сумели применить подъемную силу горячего воздуха. Небесные фонарики использовались для тех же целей, что и воздушные змеи, часто для военной связи.

ВОЗДУШНЫЙ ШАР 1783

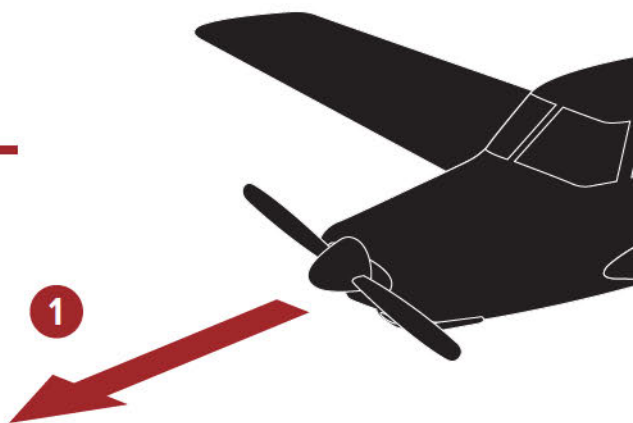
Первый воздушный шар братьев Монгольфье поднялся в воздух 4 июня 1783 года с уткой, петухом и овцой в корзине. В том же году братья начали пилотируемые полеты.

ПЛАНЕР 1853

Несмотря на многократные попытки построить планер, первой надежно работающей конструкцией после двух столетий разработок оказался планер Джорджа Кейли.

ЧЕТЫРЕ СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА САМОЛЕТ В ПОЛЕТЕ

Когда самолет находится в полете, на него действуют силы, которые удерживают его в воздухе, а также силы, которые препятствуют его движению. Впервые они были определены планеристом Джорджем Кейли в начале XIX века, и это открытие заложило основу для проектирования всех будущих самолетов.



1 ТЯГА

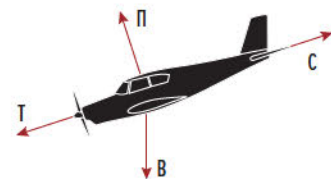
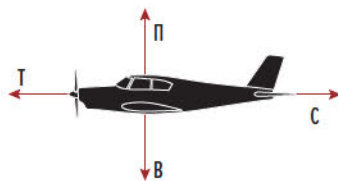
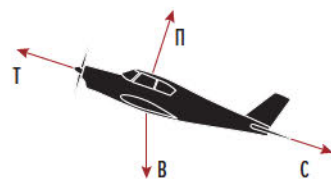
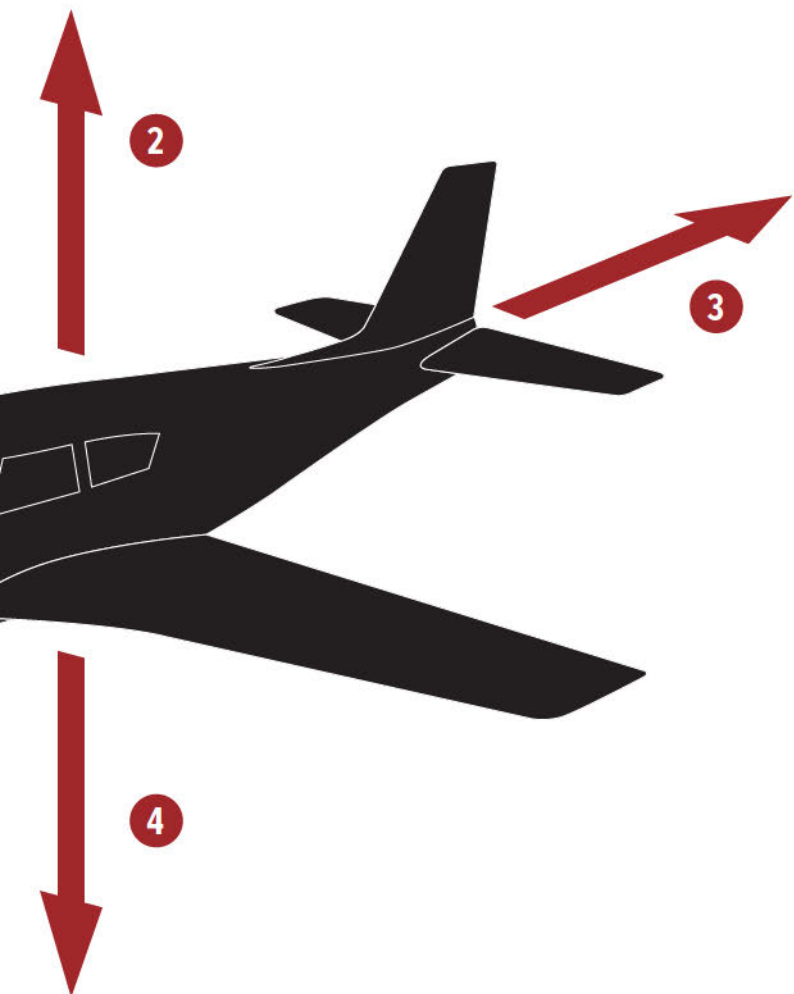
Тяга необходима для управляемого полета — это сила, которая «тянет» самолет вперед по воздуху. Без тяги самолет не сможет взлететь или поддерживать скорость в полете, не спускаясь на землю.



2 ПОДЪЕМНАЯ СИЛА

Подъемная сила возникает, когда воздух обтекает крылья самолета с высокой скоростью. Эта сила, как правило, направлена вверх относительно крыльев и удерживает самолет в воздухе, в то время как двигатели тянут самолет вперед.





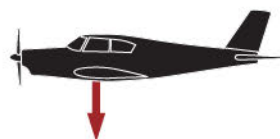
3 СОПРОТИВЛЕНИЕ

Сопrotивление действует в направлении, противоположном движению самолета. Это воздействие воздуха, толкающего самолет назад, когда он летит через атмосферу.



4 ВЕС

Из-за земного притяжения любое тело имеет вес. Эта сила всегда направлена вертикально вниз, к центру планеты. Чтобы самолет смог оторваться от земли, его вес не должен превышать подъемную силу, которую создают крылья.

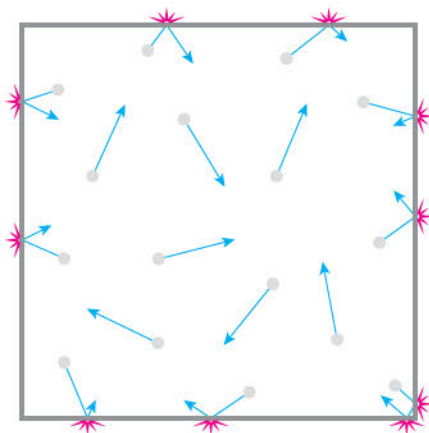


ЧТО ТАКОЕ ДАВЛЕНИЕ

Прежде чем углубляться в теорию возникновения подъемной силы крыла, важно понять, как ведут себя газы, в том числе воздух. Зная свойства газа, мы можем определить природу и силу воздействия его молекул на окружающие предметы. Эту силу мы называем давлением.

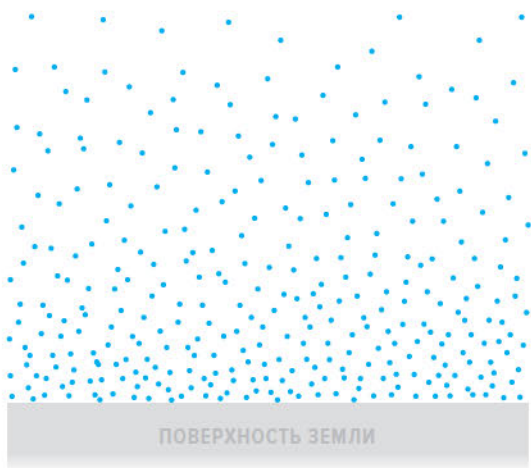
СТОЛКНОВЕНИЯ

Как и все вещества, газ состоит из молекул. В твердом теле молекулы плотно упакованы в неподвижную жесткую структуру. В газе, наоборот, молекулы находятся далеко друг от друга и могут свободно перемещаться. Хаотично перемещаясь, эти молекулы равномерно распределяются по всему объему сосуда и сталкиваются с его стенками. Каждое из этих столкновений создает такое же воздействие, как при броске мяча в стену, но в гораздо меньших масштабах. Совокупный эффект всех этих столкновений называется давлением газа. Этот термин применяется как наименование силы, воздействующей на определенный участок поверхности.



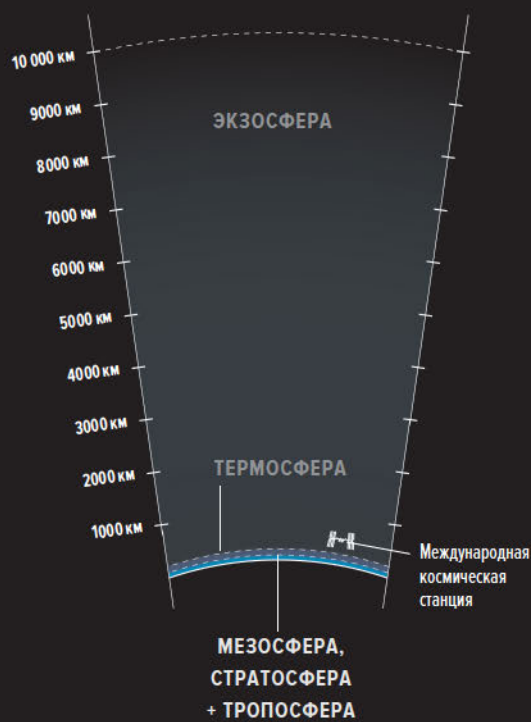
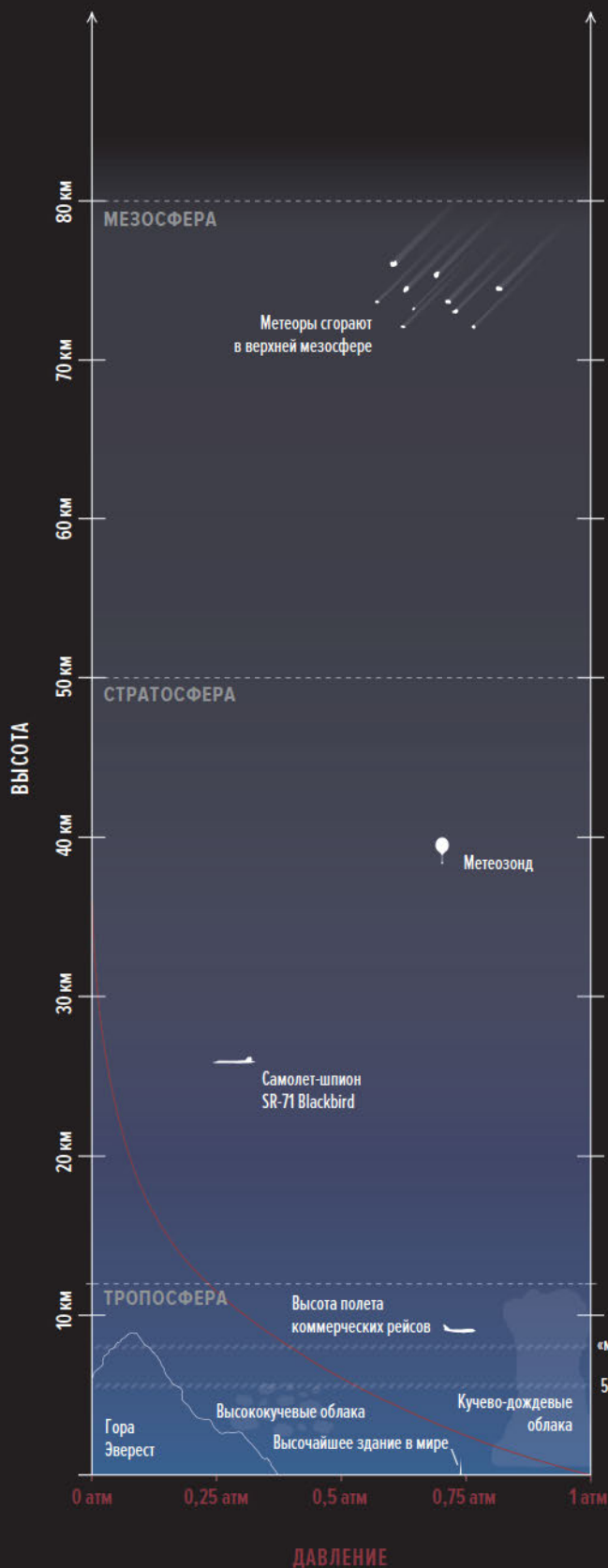
АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

В отличие от упомянутого закрытого сосуда давление в атмосфере Земли распределяется по высоте неравномерно. Причина в разной плотности воздуха; воздух у поверхности Земли становится более сжатым под воздействием собственного веса, поэтому молекулы сталкиваются чаще и давление на предметы становится больше. Знание того, как с высотой меняется атмосферное давление, крайне важно для проектирования и эксплуатации самолетов. Слишком малая высота уменьшит дальность полета вашего самолета, поскольку более плотный воздух создает большее сопротивление и увеличивает расход топлива. Но стоит взлететь слишком высоко, и воздуха не хватит для нормальной работы двигателей или создания подъемной силы крыльев.



АТМОСФЕРА ЗЕМЛИ

Большая часть атмосферы Земли простирается всего на 8 км над поверхностью планеты. Все, что выше этой области, называют «мертвой зоной», потому что плотность воздуха здесь слишком мала, чтобы поддерживать человеческую жизнь. Хотя давление воздуха становится почти ничтожным чуть выше 35 км над уровнем моря, технически атмосфера простирается на тысячи километров дальше, постепенно растворяясь в космосе.



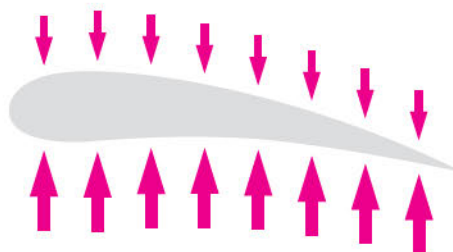
«мертвая зона»

50% веса атмосферы расположено ниже этого уровня

ДАВЛЕНИЕ

КАК ВОЗНИКАЕТ ПОДЪЕМНАЯ СИЛА

Теория подъемной силы возникла в XVIII веке, когда ученые приступили к первым исследованиям в области гидродинамики. Открытия и разработки, сделанные на протяжении двух следующих столетий, привели нас к современному пониманию взаимодействия твердых объектов с потоками жидкостей и газов.



ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОДЪЕМНОЙ СИЛЫ

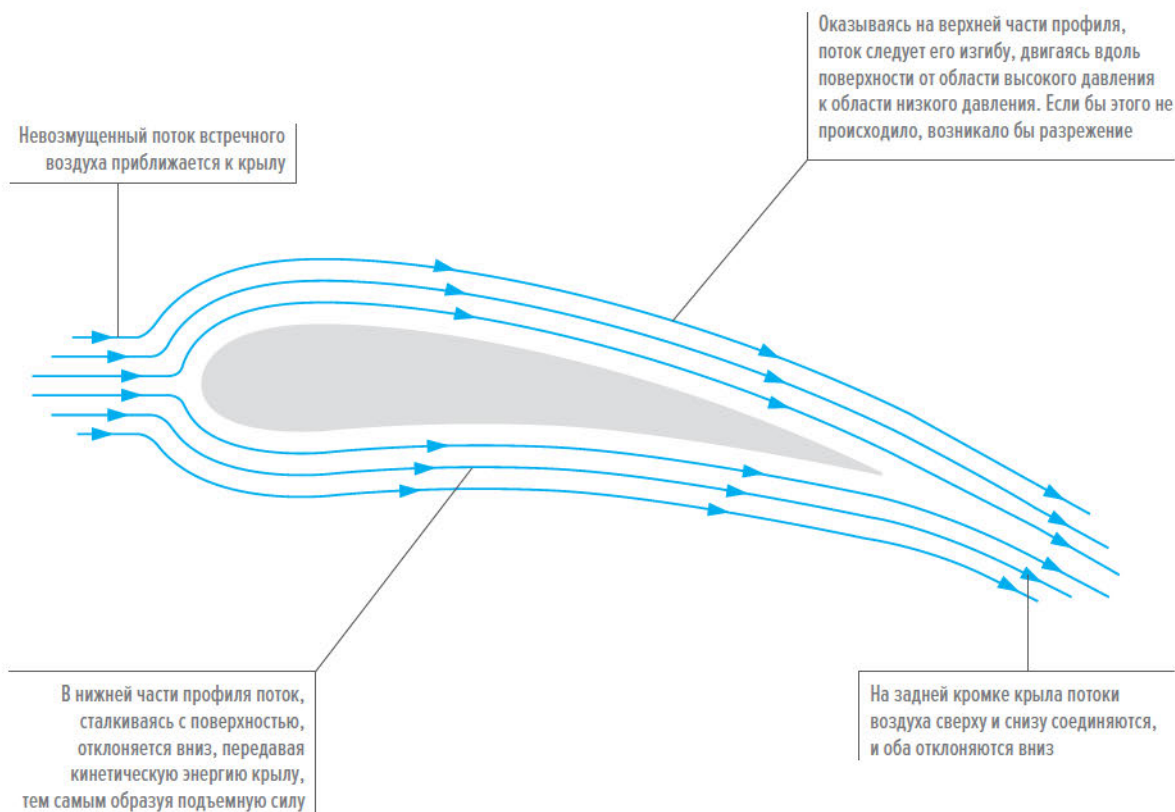
Чтобы самолет оставался в воздухе, подъемной силы должно быть достаточно для компенсации силы веса самолета, направленной вертикально вниз. Часто при описании подъемной силы дается только одно объяснение, но, чтобы полностью понять, как работает крыло, необходимо уяснить два фактора возникновения подъемной силы: то, как воздушный поток обтекает профиль (скос потока), и то, как ток воздуха создает область низкого давления над

крылом и область высокого давления под крылом. На скоростях существенно ниже 1 Маха — скорости звука — действуют оба фактора, но чем ближе скорость полета к 1 Маху, тем больше доминирует скос потока. После преодоления звукового барьера скос потока становится единственной причиной возникновения подъемной силы, поскольку на сверхзвуковой скорости воздух сжимается и отрицательно влияет на работу профиля крыла. Но об этом позже.

СКОС ПОТОКА

Крыло создает часть подъемной силы, просто изменяя направление движения воздуха. Это связано с его формой, которая заставляет поток воздуха отклоняться вниз. Поскольку третий закон движения Ньютона гласит, что для каждого действия существует равное по силе и противоположное по направлению противодействие, воздух оказывает на крыло воздействие, направленное вверх.

Вспомните, что происходит, если высунуть руку из окна движущейся машины. Если ладонь расположена горизонтально, вы не ощущаете заметной тяги вверх или вниз, но стоит приподнять переднюю кромку ладони — и встречный воздух толкнет руку вверх. Это реакция на то, что ваша ладонь отклоняет воздух вниз.



На рисунке крыло расположено под углом к набегающему потоку. Этот угол довольно типичен для самолета, находящегося в прямом и горизонтальном полете. Позже мы рассмотрим, как изменение угла влияет на подъемную силу и сопротивление крыла.

РАЗНОСТЬ ДАВЛЕНИЙ

Чтобы описать, как движущееся крыло создает разность давлений с двух сторон, необходимо понять принцип Бернулли.

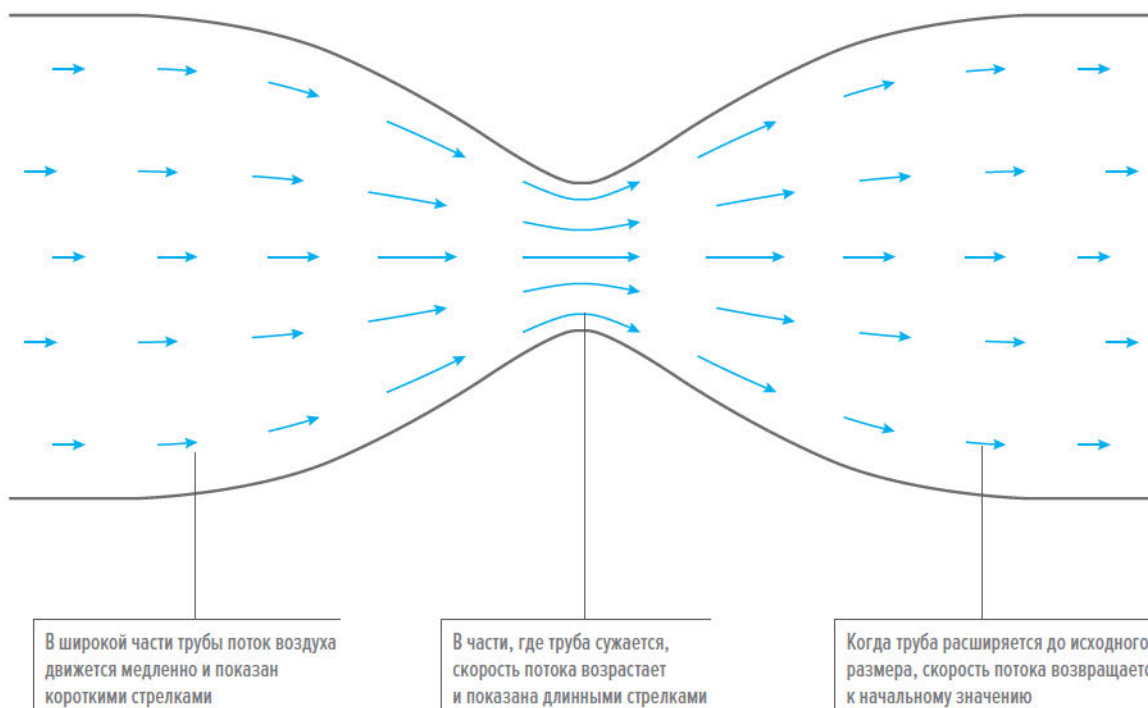
Даниэль Бернулли был швейцарским математиком и физиком, проводившим новаторские исследования в области гидродинамики — в частности того, как вода течет в различных ситуациях. Он опубликовал свои выводы в труде «Гидродинамика» в 1738 году. Впоследствии заголовок этой книги превратился в название для целой отрасли науки. Хотя в своих экспериментах Бернулли использовал жидкости, его выводы в целом справедливы и для газов. Исключением является высокая скорость потока (примерно более 0,3 Маха), когда воздух

перед объектами начинает сжиматься, поскольку исходные уравнения Бернулли работают только для потоков с постоянной плотностью.

Во время экспериментов Бернулли наблюдал, что происходит, когда вода проходит через трубки, имеющие сужение посередине. Первое, что бросается в глаза: в области сужения поток движется быстрее. Для большинства людей это вполне очевидный факт — в конце концов, многие из нас видели широкую медленную реку, которая заметно ускоряет свое течение на более узких участках; если зажать конец садового шланга, то вода вырывается быстрее. Менее очевидно, как изменение скорости жидкости влияет на ее давление.

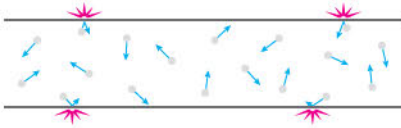


ПРИНЦИП БЕРНУЛЛИ



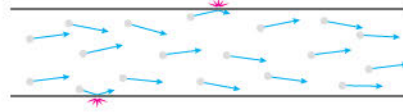
Бернулли пришел к выводу, что по мере ускорения потока давление жидкости на стенки будет падать. Его идеи проиллюстрированы на следующих рисунках, изображающих две трубки. В первой трубке жидкость неподвижна, а во второй равномерно движется.

ЖИДКОСТЬ НЕПОДВИЖНА



Здесь общая скорость жидкости равна нулю. Как уже говорилось ранее, молекулы будут свободно перемещаться случайным образом и регулярно сталкиваться с внутренними стенками окружающей трубки. Каждое из этих столкновений имеет силу, и поэтому на стенки трубки оказывается определенное давление.

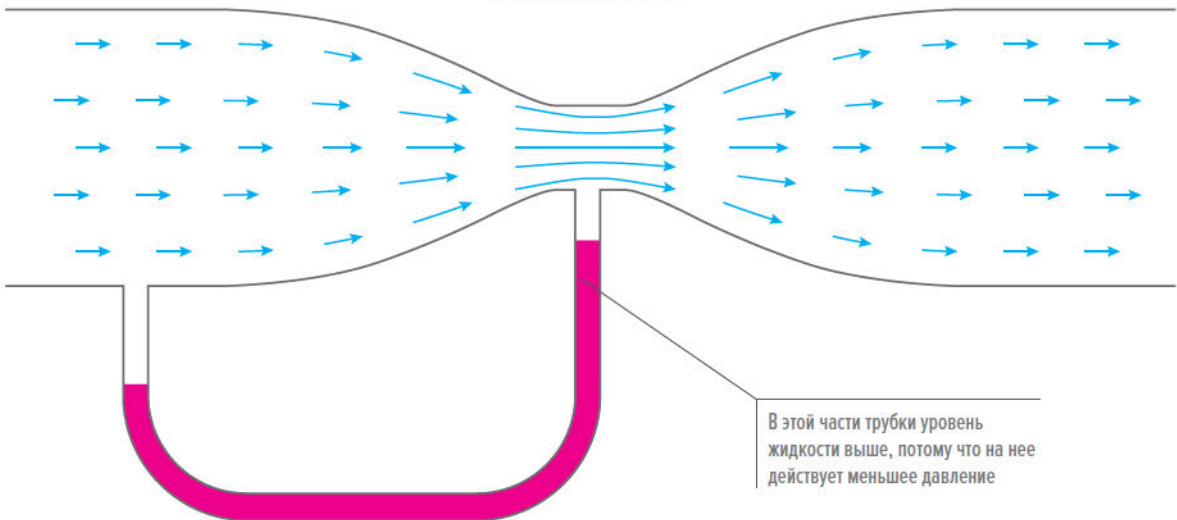
ПОТОК ДВИЖЕТСЯ СЛЕВА НАПРАВО



Здесь жидкость течет по трубке. Хотя и не все частицы движутся точно вправо, их преимущественное направление движения совпадает с направлением потока. Это приводит к уменьшению количества столкновений со стенками трубки, а возникающие столкновения с большей вероятностью будут происходить под меньшими углами и больше напоминать скользящие удары. Это приводит к снижению полного давления на стенки.



ТРУБКА ВЕНТУРИ



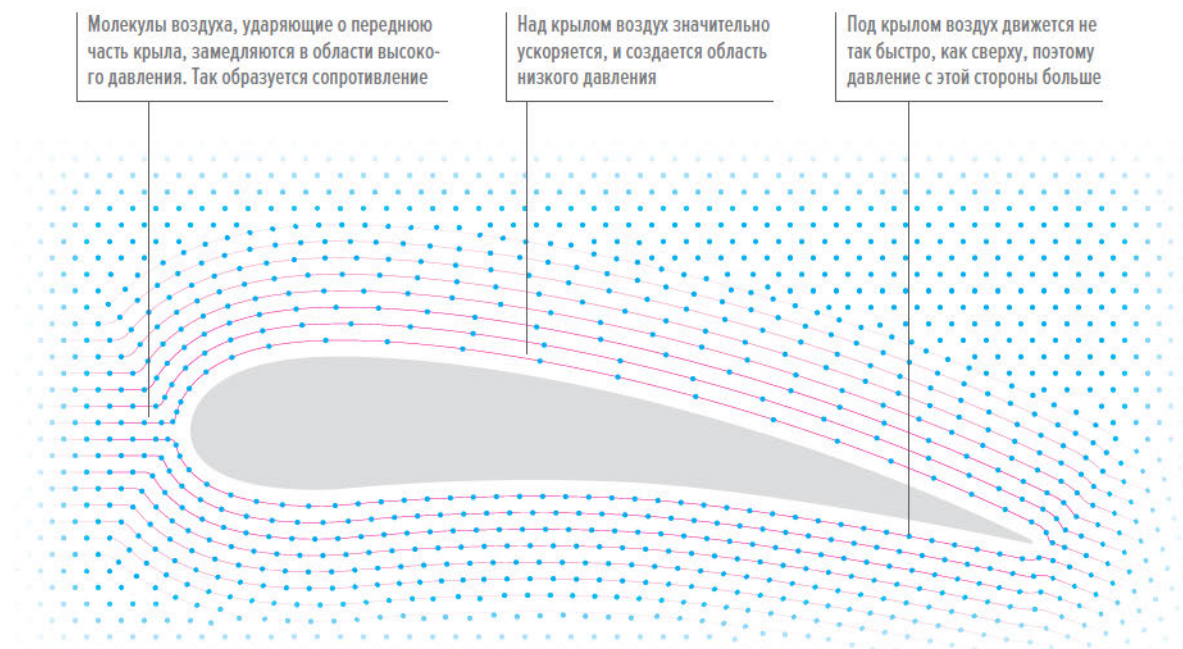
В этой части трубки уровень жидкости выше, потому что на нее действует меньшее давление

На рисунке выше изображено поперечное сечение трубки Вентури, устройства, которое наглядно демонстрирует принцип Бернулли. В этом случае через трубку протекает поток воздуха, а в секции с U-образным изгибом находится жидкость. Если воздух в трубке неподвижен, то жидкость находится на одинаковой высоте с каждой стороны U-образного изгиба. Однако, когда воздух проходит через трубку, жидкость втягивается в область низкого давления в точке, где воздушная скорость больше.

РАЗНОСТЬ ДАВЛЕНИЙ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Теперь, когда мы знаем, что чем быстрее движется поток, тем меньше давление, которое он оказывает на прилегающие поверхности, мы начинаем понимать, почему крыло самолета имеет такую вогнуто-выпуклую форму. Воздух, проходящий над крылом, вынужден двигаться быстрее, чем воздух внизу, поэтому под крылом образуется область высокого давления, а сверху будет область низкого давления. Если эти условия выполнены, на крыло будет действовать сила, направленная вверх. В течение многих лет проб и ошибок, испытаний в аэродинамической трубе, а в последнее время и компьютерного моделирования инженеры разработали такие профили, которые заставляют воздушный поток вести себя нужным образом — увеличивать скорость над верхней частью, в то же время избегая увеличения скорости снизу.

Как правило, верхняя поверхность крыла имеет больший изгиб (кривизну), чем нижняя, и действует как сужение в трубке Вентури. Воздух, протекающий сверху, проходит более длинный путь, поэтому вынужден течь быстрее, чтобы подчиняться законам гидродинамики. Плоская поверхность нижней стороны означает, что путь воздушного потока здесь короче и поэтому воздуху не нужно ускоряться. Однако желательно, чтобы нижняя сторона тоже была несколько изогнутой, так как это гарантирует, что потоки воздуха сверху и снизу при встрече будут двигаться в одном направлении. Если бы два потока встречались под острым углом, это привело бы к турбулентности воздуха за крылом и увеличило сопротивление.



На рисунке скорость воздуха относительно крыла представлена синими точками: чем больше расстояние между точками, тем больше скорость. Расстояние между точками не следует путать с плотностью, поскольку ниже скорости звука мы можем считать плотность воздуха постоянной.

Изогнутый аэродинамический профиль, показанный на рисунке выше, типичен для дозвукового самолета. На более высоких скоростях воздух ведет себя совершенно иначе, и крыло, которое подходит для перемещения со сверхзвуковой скоростью, имеет иные профили. Можно с уверенностью сказать, что если вы видите самолет с относительно толстым профилем и выраженными изгибами обеих поверхностей крыла, то он не предназначен для полетов на высоких скоростях.